

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

Современные проблемы физики и технологий

VII Международная молодежная научная школа-конференция

16–21 апреля 2018 года

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Часть 1

МОСКВА

УДК 53+62+61
ББК 22.3+3+51
М 43

Современные проблемы физики и технологий. VII-я Международная молодежная научная школа-конференция, 16–21 апреля 2018 г.: Тезисы докладов. Часть 1. М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – 348 с.

Международные молодежные научные школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий» проходят на базе НИЯУ МИФИ и ФИАН ежегодно. Целью научной школы является привлечение молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников к обсуждению актуальных научных проблем современной фундаментальной и прикладной физики, ядерных и физических технологий, повышение квалификации будущих исследователей и привлечение молодых кадров в науку и образование. Лекторами школ приглашаются ведущие в мире ученые по передовым направлениям физики, технологии, техники и образования. Формат школы предусматривает доклады молодых ученых на устной и стендовой секциях.

Сборник тезисов докладов VII Международной молодёжной научной школы объединил работы школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках VII Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика, Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы, IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность, Инженерно-физические технологии для биомедицины, Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии, а также доклады на английском языке.

Тезисы докладов издаются в авторской редакции

ISBN 978-5-7262-2466-4

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2018

О Международной молодёжной научной школе-конференции

Международные молодежные научные школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий» проходят на базе НИЯУ МИФИ и ФИАН ежегодно. Целью научной школы является привлечение молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников к обсуждению актуальных научных проблем современной фундаментальной и прикладной физики, ядерных и физических технологий, повышение квалификации будущих исследователей и привлечение молодых кадров в науку и образование. Лекторами школ приглашаются ведущие в мире ученые по передовым направлениям физики, технологии, техники и образования. Формат школы предусматривает доклады молодых ученых на устной и стендовой секциях. Сборник тезисов докладов VII Международной молодёжной научной школы объединил работы студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках VII Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика, Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы, IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность, Инженерно-физические технологии для биомедицины, Электроника, автоматика, спинтроники, нанотехнологии.

Место проведения

VII Международная молодёжная научная школа-конференция пройдет с 17 по 21 апреля 2018 года в Москве на базе Национального исследовательского ядерного университета МИФИ и Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

Рабочий язык школы: русский и английский

Организаторы международной молодёжной научной школы-конференции

- Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
- Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
- При поддержке Российского фонда фундаментальных исследований

Сопредседатели программного комитета

- Стриханов Михаил Николаевич – ректор НИЯУ МИФИ
- Крохин Олег Николаевич – академик РАН, научный руководитель Высшей школы физиков им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ

Программный комитет:

- Карцев П.Ф. (НИЯУ МИФИ) – ответственный секретарь
- Барбашина Н.С. (НИЯУ МИФИ)
- Барберо Джованни (Политехнический университет Турина, Италия, НИЯУ МИФИ)
- Весна Е.Б. (НИЯУ МИФИ)
- Кабашин А.В. (CNRS, Франция)
- Калинин Б.А. (НИЯУ МИФИ)
- Каргин Н.И. (НИЯУ МИФИ)
- Касумова Р.Д. (БГУ, Азербайджан)
- Конов В.И. (ИОФАН)
- Котова С.П. (СФ ФИАН)
- Кузнецов А.П. (НИЯУ МИФИ)
- Кульчин Ю.Н. (ДВО РАН, НИЯУ МИФИ)
- Курнаев В.А. (НИЯУ МИФИ)
- Леонова Н.М. (НИЯУ МИФИ)
- Мисюрин С.Ю. (НИЯУ МИФИ)
- Парфенов А.В. («Лазерные технологии», США)
- Тимошенко В.Ю. (НИЯУ МИФИ)
- Тихомиров Г.В. (НИЯУ МИФИ)
- Уммарино Джованни (Политехнический университет Турина, Италия, НИЯУ МИФИ)
- Фойтик Антон (Чешский технический университет в Праге, НИЯУ МИФИ)
- Яценко Л.П. (ИФ НАН, Украина)

Сопредседатели организационного комитета

- Завестовская Ирина Николаевна – директор Инженерно-физического института биомедицины НИЯУ МИФИ
- Яшин Игорь Иванович – и.о. декана ВШФ им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ

Организационный комитет

- Ананская А.А. (НИЯУ МИФИ) - ответственный секретарь оргкомитета
- Алещенко Ю.А. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Вишиванюк А.В. (НИЯУ МИФИ)
- Евсович А.В. (НИЯУ МИФИ)
- Карпов Н.В. (НИЯУ МИФИ)
- Комочкина Е.А. (НИЯУ МИФИ)
- Родионова О.В. (НИЯУ МИФИ)
- Тупицын И.М. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Фроня А.А. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Харин А.Ю. (НИЯУ МИФИ)

Содержание

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

SYNTHESIS AND IONIC CONDUCTIVITY OF RE-DOPED BARIUM CERATE	
<i>Bulaeva E.A., Lupitskaya Yu.A.</i>	23
RECORDING AND RECONSTRUCTION DIGITAL HOLOGRAM OF MICRO PARTICLES OF DISPERSED PHASE	
<i>Dvornichenko M., Kamenev</i>	25
INFLUENCE OF THE CONCENTRATION AND THICKNESS OF THE MEDIUM ON THE EFFECT OF COHERENT BACKSCATTERING ON CORUNDUM PARTICLES	
<i>Ismailov Sh. M., Kamenev V. G.</i>	26
VISUALIZING TOPOLOGICAL CHARGE TRANSPORT	
<i>Lizunova M.A., Morais Smith C., van Wezel J.</i>	28
LUMINESCENCE PROPERTIES OF Er ³⁺ DOPED KPr ₂ Cl ₁₅ AND RbPr ₂ Br ₅ CRYSTALS	
<i>Serazetdinov A.R., Smirnov A.A., Pustovarov V.A. and Isaenko L.I.</i>	29
INVESTIGATION ON THE BAND GAP OF THE GaAs _(1-x) Bi _x THIN MBE-GROWN LAYERS	
<i>Shima J. Amiri, Yury A. Mityagin, Maksim P. Telenkov, Igor P. Kazakov, Sergei A. Savinov</i>	31
EMISSION OF PHOTONS AND PLASMONS BY BALLISTIC ELECTRONS IN NANOSCALE CONTACTS	
<i>Shuklin F. A., Smetanin I.V., Protsenko I.E., Uskov A.V.</i>	33
METHODS AND TECHNIQUE FOR DIGITAL REGISTRATION OF HIGH-SPEED GAS DYNAMICS PROCESSES	
<i>Turkin V.N., Kuzin V.M., Shubin A.S.</i>	35
ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ НА СВОЙСТВА ДИОКСИДА ТИТАНА	
<i>Алиев С.А., Бабкина Т.А., Вега И., Копьема М.С., Чехлова Т.К.</i>	37
ПРИМЕНЕНИЕ ИК СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТОПЛИВА	
<i>Алыкова О.М., Смирнов В.В., Лухтер А.М.</i>	39

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КОЛЕЦ <i>Анищенко И.В., Покровский С.В., Руднев И.А.</i>	41
КИНЕТИКА ТРАВЛЕНИЯ (100) МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ВОДОРОДНОЙ МИКРОВОЛ- НОВОЙ ПЛАЗМЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ <i>IN SITU</i> С ИСПОЛЬЗОВА- НИЕМ НИЗКОКОГЕРЕНТНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ И ОПТИ- ЧЕСКОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ <i>Антонова И.А., Юров В.Ю., Бушуев Е.В., Большаков А.П., Ашкинази Е.Е., Ральченко В.Г.</i>	43
ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ <i>Антоновская В.В., Рзаев Р.А.</i>	46
ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ СТАЦИ- ОНАРНОЙ ФАЗЫ РЕЗОНАСНОГО МИКРОВОЛНОВОГО РАЗ- РЯДА В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ (Ar, He) ФОРВАКУУМНОГО ДИА- ПАЗОНА ДАВЛЕНИЙ <i>Асанина С.Г., Андреев В.В., Василеска И., Корнеева М.А.</i>	48
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ НЕОДНОРОДНОЙ ФЛУКТУИРУ- ЮЩЕЙ ПЛАЗМЫ НА ПРИМЕРЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИО- СИГНАЛА В КАНАЛЕ ЗЕМЛЯ–ИОНОСФЕРА <i>Белов С.Ю.</i>	50
ТЕХНОЛОГИЯ ГРАНУЛИРОВАНИЯ ПЛАВЛЕННОГО СВАРОЧ- НОГО ФЛЮСА ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ <i>Белоусов К.И., Наумов С.В., Карташев М.Ф., Игнатов М.Н.</i>	52
МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ЛЕНГМЮРА–ШЕФФЕРА ДЛЯ ПО- ЛУЧЕНИЯ УПОРЯДОЧЕННЫХ БЕЛКОВЫХ ПЛЕНОК <i>Бойкова А.С., Дьякова Ю.А., Марченкова М.А., Ильина К.Б., Сере- гин А.Ю. и другие.</i>	54
ИЗОТОПИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ЦЕНТРАХ ОКРАСКИ АЛМАЗА ТИПА SiV И GeV <i>Болдырев К.Н., Маврин Б.Н.</i>	56
ПАРАДОКС РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ЦИЛИН- ДРОМ МАЛОГО РАДИУСА <i>Брынкин Я.А., Трибельский М.И.</i>	57

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ЛАЗЕР НА КРАСИТЕЛЯХ С КВАЗИ-ПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ	
<i>Бурдукова О.А., Петухов, Семёнов М.А.</i>	59
РАЗРАБОТКА АПОДИЗАТОРА ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СУПЕРГАУССОВА ПУЧКА В ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЕ	
<i>Бутаев М.Р., Михеев Л.Д., Ставровский Д.Б., Москалев Т.Ю.</i>	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ДОПИРОВАННЫХ В КИСЛОТНОЙ СРЕДЕ	
<i>Великанов В.А., Еремин Т.В., Образцова Е.Д.</i>	64
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКИХ И НЕОДНОРОДНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ЦИРКУЛЯРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ	
<i>Викунин Д.В., Яворский М.А.</i>	66
СТЕНД ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ	
<i>Волков Н.С., Задеба Е.А., Ампилогов Н.В.</i>	68
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ОДНОЧАСТОТНЫЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ЛАЗЕР	
<i>Воронченко С.А., Медведев С.В.</i>	70
РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ КАРБИНОАЛМАЗНЫХ ФАЗ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ СУПЕРКУБАНА	
<i>Генералов А.И., Беленков Е.А.</i>	72
ОРГАНИЧЕСКИЕ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ НОВОГО КЛАССА МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ Eu (III)	
<i>Горячий Д.О., Коришунов В.М., Ващенко А.А., Амбросевич С.А., Тайдаков И.В.</i>	74
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ МАГНЕТРОННОМ НАПЫЛЕНИИ МЕТАЛЛОВ НА ПРОВОДЯЩИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОДЛОЖКИ	
<i>Горячко А.И., Бузько В.Ю., Бойченко А.П.</i>	76
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МИКРОСТРУКТУРЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕДИ	
<i>Горячко А.И., Бузько В.Ю., Бублик В.А., Евсигнеев В.В., Барышев М.Г.</i>	78

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ТЕТРАГОНАЛЬНОГО ГРАФИТА В АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ФАЗЫ	
<u>Грешняков В.А.</u>	80
УПРУГИЕ СВОЙСТВА 1-ПРОПАНОЛА ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ	
<u>Данилов И.В., Громницкая Е.Л., Ляпин А.Г., Бражский В.В.</u>	82
ПЛАЗМЕННЫЙ СВЧ-УСИЛИТЕЛЬ ШУМОВ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА	
<u>Диас Михайлова Д.Е., Иванов И.Е., Стрелков П.С., Шумейко Д.В.</u>	84
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ SnAs	
<u>Дмитриева К.А., Безотосный П.И., Вилков О.Ю., Перваков К.С., Рыбкин А.Г.</u>	86
СИММЕТРИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПАРАМЕТРА ПОРЯДКА В МИНИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ВТСП НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА: ВАРИАЦИОННОЕ КЛАСТЕРНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ	
<u>Жумагулов Я.В., Неверов В.Д., Лукьянов А.Е., Красавин А.В.</u>	88
УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВО ВТОРУЮ ГАРМОНИКУ В НЕЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ	
<u>Земенков Л.И., Саакян А.Т., Стародуб А.Н.</u>	90
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧКИ ИНТЕРМОДУЛЯЦИИ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА РАДИОФОТОННОЙ ЛИНИИ X-ДИАПАЗОНА	
<u>Земцов Д.С., Злоказов Е.Ю., Небавский В.А., Осипов В.Г., Стариков Р.С., Хафизов И.Ж.</u>	91
ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ НА БАЗЕ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ	
<u>Зимовец И.А., Филатов Д.О.</u>	93
ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОПУТНОГО ДВУХВОЛНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КРИСТАЛЛЕ Bi ₁₂ SiO ₂₀ СРЕЗА (110)	
<u>Злобин А.О., Шандаров С.М., Буримов Н.И., Шмидт А.А.</u>	95
РАСПАД НАЧАЛЬНОГО РАЗРЫВА ДЛЯ ФОТОННОГО ТЕЧЕНИЯ: ЭФФЕКТЫ САМОУКРУЧЕНИЯ	
<u>Иванов С. К., Камчатнов А. М.</u>	97

СОДЕРЖАНИЕ

НАНОСЕКУНДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ В ПЛАЗМЕННОМ РАСПЛАВЕ	100
<i>Иванова А.К., Ионин А.А., Кудряшов С.И.</i>	
ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ТИТАНА В СРЕДЕ ЖИДКОГО УГЛЕ- ВОДОРОДА	102
<i>Ивашенко А.В., Хорьков К.С., Кочуев Д.А., Тарасова М.А.</i>	
СИНТЕЗ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ДВУХСЛОЙНЫМ РЕЗОНАТОРОМ	104
<i>Идрисов Р.Ф.</i>	
ИЗМЕРЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ «КАНАЛ-2» ДЛЯ МИ- ШЕНЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ И МЕДИ	106
<i>Изотов Н.В., Пузырёв В.Н., Саакян А.Т., Стародуб А.Н., Якушев О.Ф.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕЙТЕРИРОВАННОЙ ВОДЫ НА НАЧАЛЬНУЮ СТАДИЮ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛИЗОЦИМА МЕ- ТОДОМ МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ	107
<i>Ильина К.Б., Бойкова А.С., Дьякова Ю.А., Марченкова М.А., Конарев П.В., Крюкова А.Е., Писаревский Ю.В., Ковальчук М.В.</i>	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ПО РАЗЛЁТУ ПЛАЗМЫ И ЕЁ МЯГКИМ РЕНТГЕ- НОВСКИМ СПЕКТРАМ БЕРИЛЛИЕВОЙ МИШЕНИ НА УСТА- НОВКЕ «КАНАЛ-2»	109
<i>Калинников А.И., Андреев С.Н., Кологривов А.А., Пузырёв В.Н., Саакян А.Т. и другие</i>	
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА МАГНИТНУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ MN-ZN ФЕРРИТОВ	111
<i>Каранский В.В., Олицкий В.К.</i>	
УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СВЧ – РАЗРЯДА В ОБЪЕМНОМ РЕЗОНАТОРЕ	113
<i>Кирилов А. А., Токарев А.В.</i>	
СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА РАС- ТВОРЕННОГО В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ	115
<i>Клишин Ю.А., Литвинов А.В., Лантнев А.В.</i>	
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО ПЕРОВСКИТА Bi ₆ Ti ₃ Fe ₂ O ₁₈ ДОПИРОВАННОГО НИКЕЛЕМ	117
<i>Кобяков И.Ю., Толстых Н.А., Бочаров А.И., Гриднев С.А.</i>	
РАДИОМОДИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИ- ДИЦИКЛОПЕНТАДИЕНА ЭЛЕКТРОНАМИ	119
<i>Кожанова М.Ю., Литвиненко О.В.</i>	

СОДЕРЖАНИЕ

РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ БОРА С РАСПРЕДЕЛЁННЫМ ТИПОМ КОВАЛЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ	
<u>Колодкин С.В., Беленков Е.А.</u>	121
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПЛАМЕНИ	
<u>Коростелева Ю.В., Диденко А.А.</u>	123
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ФОТОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АМОРФНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА AL85NI10LA5	
<u>Косырева А.Н.</u>	125
ГЕНЕРАЦИЯ СИЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ИЗОГНУТЫХ МИШЕНЯХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИНТЕНСИВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ ПИКОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ	
<u>Кочетков Ю.В., Корнеев Ф.А., Степанищев В.В., J. J. Santos., M.Ehret и другие.</u>	127
ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ РАСПЫЛЕННОГО ТОПЛИВА	
<u>Куликов В.С., Диденко А.А.</u>	129
АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ФАЗЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА L ₅₋₇	
<u>Куржумбаев Д.Ж., Грешняков В.А.</u>	131
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ ($\lambda = 630 \div 650$ НМ) НА ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ	
<u>Лазарев Н.О., Мармалюк А.А.</u>	133
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ЖИДКОСТИ	
<u>Леушка М.А., Гайсин Ал. Ф.</u>	136
СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В НАНОСТРУКТУРИРОВАННОМ ЭВТЕКТИЧЕСКОМ СПЛАВЕ Ga-Ag	
<u>Лихолетова М.В., Лезова И.Е., Шевченко Е.В., Мальцева Л.А.</u>	138
ВАРИАЦИОННОЕ КЛАСТЕРНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ И ТОЧНАЯ ДИАГНОАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА МОДЕЛЕЙ ХАББАРДА	
<u>Лукьянов А.Е., Неверов В.Д., Жумагулов Я.В., Красавин А.В.</u>	140
СОЗДАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА РАДИАЛЬНОГО СДВИГА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОЛНОВОГО ФРОНТА ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА	
<u>Майоров А.А., Лукьянов К.С., Губский К.Л.</u>	142

СОДЕРЖАНИЕ

УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ С НЕЛИНЕЙНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПЛОТНОСТИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ	144
<i>Маркушин М.А., Колпаков В.А., Ивлиев Н.А.</i>	
ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЦИНКА НА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ СТАННАТА КАЛЬЦИЯ, АКТИВИРОВАННОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ	146
<i>Марьина У.А., Марьин А.П., Воробьев В.А.</i>	
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ	148
<i>Масленникова И.С., Серебрякова А.С., Масленников С.П.</i>	
СОВРЕМЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМАТРОНОВ	150
<i>Мацкевич С.С., Гостев А.В., Ахатов М.Ф.</i>	
СИНТЕЗ ТУГОПЛАВКИХ КАРБИДНЫХ, НИТРИДНЫХ И ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ФАЗ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОМ ПОВЕРХНОСТНОМ ЛЕГИРОВАНИИ	152
<i>Мин Хтет Со, Кузнецова А.П.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ВОЛОКОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	154
<i>Мишина Н.В., Мишина Т.Л., Алыкова О.М., Смирнов В.В.</i>	
ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ КРИСТАЛЛА $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ И СУММАРНЫХ ЧАСТОТ ИЗЛУЧЕНИЯ СО-ЛАЗЕРА	156
<i>Можяева В.А., Бадиков В.В., Бадиков Д.В., Ионин А.А., Киняевский И.О., Климачев Ю.М., Котков А.А.</i>	
ФАЗОВАЯ В-Т ДИАГРАММА МЕТАБОРАТА МЕДИ CuB_2O_4 : ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОЙ ЗАВИСИМОСТИ СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ	158
<i>Молчанова А.Д., Болдырев К.Н.</i>	
АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОМ ПОЖАРНОМ ИЗВЕЩАТЕЛЕ	160
<i>Мосенцов С.Н., Москалец О.Д.</i>	
ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОРОШКОВ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	162
<i>Назаров Р., Кудимов О.В.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛЕНИЯ ПОРОШКОВ СПЛАВА ИНКОНЕЛЯ 718 ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ	164
<i>Назаров Р., Кудимов О.В.</i>	

СОДЕРЖАНИЕ

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ <u>Настулявичус А.А.</u> , Смирнов Н.А., Кудряшов С.И., Ионин А.А., Сараева И.Н	166
НЕИНВАЗИВНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ДИ- АГНОСТИКА ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ПОЛИМЕР- НЫХ МЕМБРАН <u>Науменко В.А.</u> , Бункин Н.Ф., Козлов В.А., Шкирин А.В.	167
РАЗДЕЛЕНИЕ ЗАХВАТА СРЕДНЕГО ИК – ИЗЛУЧЕНИЯ И ПО- ГЛОЩЕНИЯ ДОНОРНЫХ ПРИМЕСЕЙ СЕРЫ В НАНОСЕКУНД- НОМ ЛАЗЕРНОМ МИКРОСТЕКТУРИРОВАННОМ СЕВЕРХЛЕ- ГИРОВАННОМ КРЕМНИИ: СПОСОБ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕН- НО СПЕКТРАЛЬНО МЕЖЗОННОГО ИК – ПОГЛОЩЕНИЯ <u>Нгуен Л.В.</u> , Кудряшов С.И., Руденко А.А., Хмельницкий Р.А., Ионин А.А.	169
СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МАССИВОВ МИКРООТВЕР- СТЕЙ В ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ <u>Нгуен Ч.Т.Х.</u> , Кудряшов С.И., Данилов П.А., Ионин А.А., Хмельниц- кий Р.А., Руденко А.А., Сараева И.Н., Зяярный Д.А.	171
АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ДВУХОРБИТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ВТСП НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА <u>Неверов В.Д.</u> , Жумагулов Я.В., Лукьянов А.Е., Красавин А.В.	173
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮ- ЩИХ ПРИМЕСЕЙ В ХАЛЬКОГЕНИДАХ ЦИНКА С ПОМОЩЬЮ ФЛУОРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ <u>Нигматуллин И.Р.</u> , Черепанов К.В., Гришанов В.Н.	175
ЗАТУХАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ НАНОПЛАСТИН CdTe ВО ВНЕШЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ <u>Нурминская Н.А.</u> , Соловей В.Р., Селюков А.С., Швайко Д.Р.	176
ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ <u>Нэй Х.А.</u> , Мустафаев Э.С., Метель А.С.	178
РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ ХРУПКОМУ РАЗ- РУШЕНИЮ КРЫШКИ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 <u>Овсенёв А.Е.</u> , Балачков М.М. Пермикин А.А.	180
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРА- БОТКИ НА МИКРОГЕОМЕТРИЮ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА <u>Остриков Е.А.</u> , Малахинский А.П.	182
СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК ZnO МЕТОДОМ ИОННО- ЛУЧЕВОГО НАПЫЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ АРГОН-ВОДОРОД <u>Панков С.Ю.</u> , Жилова О.В., Макагонов В.А.	184

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАЗЕРНОЕ 3D ФРЕЗИРОВАНИЕ КЕРАМИКИ ДИОКСИД ЦИРКОНИЯ	
<i>Панов Д.В., Петровский В.Н., Ишкняев Э.Д., Щекин А.С., Осинцев А.В., Иванов А.А.</i>	185
КИНЕТИКА БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ АНСАМБЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ В ТОКАМАКЕ T-15	
<i>Подтурова О.И.</i>	187
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВЫХ ОКСИДНЫХ КЕРАМИК ПРОИЗВОДСТВА ФИРЭ РАН И ФКП «ГЛП «РАДУГА»	
<i>Полезов К.А., Безотосный В.В., Балашов В.В., Булаев В.Д., Канаев А.Ю. и другие.</i>	188
АВ-INITIO ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ КАРБОНАТОВ И МЕТАСИЛИКАТОВ	
<i>Празян Т.Л., Журавлев Ю.Н.</i>	191
МОДИФИКАЦИЯ КОМПАКТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ И $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ ИМПУЛЬСНОЙ ФОТОННОЙ ОБРАБОТКОЙ	
<i>Росляков А.О., Погорелова М.А., Сериков Д.В., Дыбов В.А., Федорова Е.Н.</i>	193
ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ СО ЛАЗЕРА В КРИСТАЛЛЕ $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$	
<i>Сагитова А.М., Бадиков В.В., Бадиков Д.В., Ионин А.А., Киняевский И.О. и другие.</i>	195
ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	
<i>Салихов Р., Кудимов О.В., Назаров Р., Нагулин К.Ю.</i>	197
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ AISI, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ	
<i>Саяков А.К., Руденко С.О.</i>	199
ОСЦИЛЛЯТОРНАЯ МОДЕЛЬ Z-ПИНЧ ОБЖАТИЯ ПОЛОГО ПРОВОДНИКА С Т/Я ТОПЛИВОМ	
<i>Сексембаев Ж.Б.</i>	201
ВЛИЯНИЯ МЯГКОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ПРОПАНА НА АДГЕЗИЮ И СВОЙСТВА АМОРФНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ГЕРМАНИИ	
<i>Семерикова А.И., Золкин А.С.</i>	203

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗОВАЛЕНТНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ ИОНОВ Bi^{3+} ИОНЫ Ce^{3+} И Pr^{3+} В СОЕДИНЕНИИ BiCuSeO	
<i>Сергиенко И.А., Новицкий А.П., Воронин А.И., Ховайло В.В.</i>	205
ВЛИЯНИЕ ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА НА ЗАТУХАНИЕ ФО- ТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ 2D НАНОКРИСТАЛЛОВ CdTe	
<i>Сизов В.С., Селюков А.С., Горелик В.С., Васильев Р.Б.</i>	206
ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙ- НОЙ НАНОСТРУКТУРЫ $(\text{Mg/NbO})_n$ ОТ ТОЛЩИНЫ МАГНИЕ- ВЫХ СЛОЕВ	
<i>Смирнов А.Н., Стогней О.В.</i>	208
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ АБЛЯЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ	
<i>Смирнов Н.А., Настулявичус А.А., Данилов П.А., Кудряшов С.И., Ионин А.А.</i>	210
АВТОИНТЕРКАЛИРОВАННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА	
<i>Смирнова Д.А., Морилова В.М., Беленков Е.А.</i>	211
ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ПУЧКОВ ЛАГЕРРА-ГАУССА	
<i>Соколенко Б.В., Полетаев Д.А., Присяжнюк А.В.</i>	213
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПОРТАТИВНОГО НЕЙТРОН- НОГО ГЕНЕРАТОРА С СВЧ ИСТОЧНИКОМ ИОНОВ	
<i>Степанов Д.С., Школьников Э.Я.</i>	215
ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФИЛАМЕНТАЦИИ ФЕМТОСЕ- КУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	
<i>Тарасова М.А., Хорьков К.С., Кочуев Д.А., Иващенко А.В.</i>	217
СТАРЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ В МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ	
<i>Теребинова О.Н.</i>	219
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИКРИСТАЛ- ЛИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА	
<i>Толмачёва Н.С.</i>	221
ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ПЕЧАТЬ ПЛАЗМОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРИРОВАННЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ	
<i>Уманская С.Ф., Данилов П.А., Ионин А.А., Кудряшов С.И., Кучмижак А.А., Порфирьев А.П.</i>	223
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ МОДУЛЬНОГО СВЕРЛА СИ- СТЕМЫ HTS ПРИ СВЕРЛЕНИИ КРУПНЫХ ГЛУБОКИХ ОТВЕР- СТЕЙ В КОРПУСНОМ ОБОРУДОВАНИИ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	
<i>Усманов М.З., Терехов В.М.</i>	225

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА И ЗАРЯДОВОГО СОСТАВА ИОНОВ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ «КАНАЛ-2» <i>Фахриев Б.Р., Кондратенко Т.Т., Пузырёв В.Н., Саакян А.Т., Стародуб А.Н., Фроня А.А., Якушев О.Ф.</i>	227
ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ НА МОРФОЛОГИЮ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ $ZrO_2-7Y_2O_3$ ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОГО ВЧ РАСПЫЛЕНИЯ <i>Филатов М.С., Яковлева К.С., Стогней О.В.</i>	229
СРАВНЕНИЕ НР НА ГРУППЕ $SO(3)$ ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФРО ПОЛИКРИСТАЛЛОВ <i>Филатов С.В., Савелова Т.И.</i>	231
ВЫЧИСЛЕНИЕ ОТКЛИКА НА ВНЕШНЕЕ ОДНОРОДНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ДЛЯ КРИСТАЛЛОВ LiN_3 и NaN_3 <i>Филиппов Д.И., Гордиенко А.Б.</i>	233
ТЕХНОЛОГИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ГТД <i>Хайруллина Л.Р., Смородин Ф.К.</i>	235
ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИОНОВ ПЛАЗМЫ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА С ГОРЯЧЕЙ МИШЕ-НЬЮ <i>Хомяков А.Ю., Казиев А.В., Тумаркин А.В., Колодко Д.В.</i>	237
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КОЛЕБАТЕЛЬНОГО СПЕКТРА ЛЬДА <i>Шайкомалова Е.С.</i>	239
ИЗМЕРЕНИЕ ВНЕШНЕЙ КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДОВ <i>Швайко Д.Р., Коришунов В.М., Ващенко А.А., Селюков А.С.</i>	241
ИСТОЧНИК УСКОРЕННЫХ ПУЧКОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИОНОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ LiF <i>Шипилова О.И., Горбунов С.П.</i>	243
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЯДРО-ОБОЛОЧКА НАНО-КЛАСТЕРА Cu_2Si ПРИ ПРОЦЕССАХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ <i>Юмोजапова Н.В., Номоев А.В.</i>	245

СОДЕРЖАНИЕ

Электроника, автоматика, спинтроника, Нанотехнологии

SIMULATION OF PHOTOCONDUCTIVE LT-GAAS ANTENNAS FOR TERAHERTZ RADIATION <i>Nomoev S.A., Vasilevskii I.S., Vinichenko A.N.</i>	248
THE METHOD OF CONSTRUCTION OF SEMICONDUCTOR ELEMENTS IN SURFACE MOUNTING CERAMIC PACKAGE (SMD PACKAGE) WHICH IS BASED ON ALN CERAMIC WITH USING A LASER PROCESSING OF MATERIALS <i>Prokopenko S. A.</i>	250
THERMAL STABILITY OF FUNCTIONALIZED C ₂₀ FULLERENE <i>Salem M.A.</i>	251
65-нм КМОП ЭЛЕМЕНТ СОПОСТАВЛЕНИЯ, УСТОЙЧИВЫЙ К ВОЗДЕЙСТВИЯМ ОДИНОЧНЫХ ЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ, ДЛЯ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТИ <i>Антонюк А.В.</i>	253
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК АЛЮМИНИЯ <i>Арутюнов Н.Э., Борсук А.С.</i>	255
ВОЗМОЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕЛЕНГА БПЛА АКУСТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ <i>Ашурков М.Ф.</i>	257
РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, СОДЕРЖАЩИХ ГРАФЕНОВЫЕ ЛЕНТЫ <i>Белекеев И.А., Грешняков В.А., Беленков Е.А.</i>	259
ПОЛИМОРФНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ГРАФАНА И ФТОРОГРАФЕНА <i>Беленков М.Е., Чернов В.М.</i>	261
СПОСОБ ОСТАНОВКИ ВИНТА МАРШЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ОДНОВИНТОВОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ <i>Бирюков А.М., Хайрисламов Д.А., Бикмуллина И.И.</i>	263

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ СУ ПЛЕНОК	
<u>Бисенбаева Б. К., Козловский А.Л.</u>	265
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ПОЛИМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПЕРКОЛЯЦИИ	
<u>Боков К. А.</u>	267
МОДЕЛЬ ПРЫЖКОВОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОСТРОВКОВОЙ ПЛЕНКИ РВТЕ	
<u>Бухаров Д.Н., Кучерик А.О., Истратов А.В., Осипов А.В.</u>	269
ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ	
<u>Гавриков А.А., Смирнов В.И.</u>	271
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРНОЙ МОЛЕКУЛЫ $C_{60}F_{18}$ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЕЁ АДсорбЦИИ НА $AU(111)$	
<u>Горячевский А.В., Суханов Л.П.</u>	273
ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА НАНОПОРОШКОВ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ТИПА «ЯДРО-ОБОЛОЧКА»	
<u>Гребенников И.С., Савченко А.Г., Зайцева М.П.,</u>	275
УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ СПОНТАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В ПЛАЗМОННЫХ ПАТЧ-НАНОАНТЕННАХ	
<u>Гриценко А.В., Курочкин Н.С., Елисеев С.П., Витухновский А.Г.</u>	277
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И УСТАНОВОК ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КАК ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ	
<u>Гулько М.С., Пушин Д.В., Назаров М.А.</u>	279
ИМПУЛЬСНОЕ ЛАЗЕРНОЕ НАПЫЛЕНИЕ И ИОННО-ЛУЧЕВОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК СОЕДИНЕНИЙ A^3B^5 НА Si ДЛЯ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	
<u>Девцкий О.В., Сысоев И.А., Касьянов И.В.</u>	281
НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕ В РЕЖИМЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ ЗОНДА НА ЧАСТОТЕ СОБСТВЕННОГО РЕЗОНАНСА	
<u>Довгополая Е.А., Мещеряков В.В., Масленников В.В.</u>	283
ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОШИБОК В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ ОТ БИТОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ	
<u>Доможаков Д.А.</u>	285

СОДЕРЖАНИЕ

СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛА PtSn_4 <i>Доможирова А.Н., Чистяков В.В., Наумов С.В., Патраков Е.И., Марченкова Е.Б. и другие.</i>	287
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА И ВАНАДИЯ МЕТОДОМ ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА <i>Дощатова Е. В.</i>	289
ТЕХНОЛОГИЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ВЫНОСА ПЕСКА В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ ПРИ ПОМОЩИ СПЕКТРАЛЬНОГО ШУМОМЕРА <i>Ильин Н.А., Владимирова Ф.С., Байтемиров Э.Д.</i>	291
РЕЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРЕДКОРРЕКЦИИ СИГНАЛА НА БАЗЕ FPGA ФИРМЫ ALTERA <i>Исмагилова А.Р., Тлявлин А.З., Исмагилова В.С.</i>	293
ДЕФОРМАЦИЯ ПОЛЫХ ВОЛОКОН В МЕМБРАННЫХ ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЯХ <i>Карасева М.Д., Лагунцов Н.И., Курчатков И.М.</i>	295
ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ МОДУЛЯЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОТОХРОМНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК <i>Карпач П.В., Василюк Г.Т.</i>	297
ИСТОЧНИК ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ С РАСШИРЕННЫМ РАБОЧИМ ДИАПАЗОНОМ ТЕМПЕРАТУР <i>Кисель В.М., Малявина А.Ю.</i>	299
БЛОК КОЛЫЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТАНДАРТНЫХ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ <i>Кобыляцкий А.В., Герасимов Ю.М., Григорьев Н.Г., Сергеев Д.К., Швецов-Шиловский И.И.</i>	301
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ ОКСИД КАДМИЯ-ЛИНЕЙНО-ЦЕПОЧЕЧНЫЙ УГЛЕРОД <i>Кошкина А.В., Кочаков В.Д.</i>	303
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА С КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИМ НАНОНАПОЛНИТЕЛЕМ <i>Коноваленко С.П., Бедная Т.А.</i>	305
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ <i>Крюков И.С., Мухамедов К.А., Козырь Д.В.</i>	307

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО НИЗКОНАПОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ РАСХОДОВ	
<u>Максимова Е.А., Фролова М.А.</u>	309
НОВЫЙ ИНФРАКРАСНЫЙ ЛЮМИНОФОР, АТИВИРОВАННЫЙ ИОНАМИ ИТТЕРБИЯ, ТУЛИЯ И ГОЛЬМИЯ	
<u>Марьин А.П., Марьина У.А., Воробьев В.А.</u>	311
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ	
<u>Масленникова И.С., Серебрякова А.С., Масленников С.П</u>	313
ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ, ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОРИСТО- ГО КРЕМНИЯ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПО- РИСТОГО КРЕМНИЯ	
<u>Мацуца Д.В</u>	315
ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛНОЙ ДОЗЫ ОБЛУ- ЧЕНИЯ В SPICE-МОДЕЛИ КМОП ТРАНЗИСТОРОВ	
<u>Мустафаев А.Г., Мустафаев Г.А.</u>	317
ТРЕХУРОВНЕВАЯ СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ УСТАНОВКИ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ	
<u>Мысовских И. А., Григорьев Б. В.</u>	318
РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТО- РИНГА РОСТА ТОНКИХ ПЛЕНОК В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕ- СКОГО НАПЫЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ	
<u>Нагаев Д.А., Черепанов К.В., Нигматулин И.Р., Гришанов В.Н.</u>	320
СОЗДАНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МНОГОСЛОЙНОЙ СПИН-ТУННЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ	
<u>Пестова А.Н., Трушин О.С.</u>	323
ТЕРМОХРОМИЗМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ РЬ-Se	
<u>Разина А.Г., Кочаков В.Д.</u>	325
УЛУЧШЕНИЕ ФОТОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ ФОТО- ВОЛЬТАИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ БЛАГОДАРЯ НАНОСТРУК- ТУРАМ НА ОСНОВЕ ЛИГАНДОВ	
<u>Рахматуллин Б. А., Гайнуллина Н. Р.</u>	327
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ МАГНЕТРОННО-РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК	
<u>Семенов С.В., Золкин А.С.</u>	330

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА $\text{Ni}_{45}\text{Mn}_{44}\text{In}_{11}$ ДО И ПОСЛЕ ТЕРМОБАРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Семянникова А.А., Емельянова С.М., Вишняков А.А., Дьячкова Т.В., Тютюнник А.П. и другие.</i>	331
ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ФМР-ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОРАЗМЕРНОГО ЛИТИЙ-КОБАЛЬТ-ЦИНКОВОГО ФЕРРИ- ТА <i>Скуднев В.Ю., Бузько В.Ю., Вызулин С.А.</i>	333
ФОРМИРОВАНИЕ ЯДРА СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ ТРЕ- НИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ <i>Смирнов С.В., Рзаев Р.А., Чуларис А.А.</i>	335
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРИВОД СТЕНДА ТЕСТИРОВА- НИЯ МЭМС АКСЕЛЕРОМЕТРОВ <i>Смирнова М.А.</i>	337
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ СТОУНА- УЭЛЬСА В СЛОЯХ ГРАФЕНА <i>Согрина Е.Э., Беленков Е.А.</i>	339
РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУ- ЧАЮЩИХСЯ ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ФУЛЛЕРИТА C_{20} <i>Тиньгаев М. И., Беленков Е.А.</i>	341
ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ PSA СТУПЕНИ ГИ- БРИДНОГО МЕМБРАННО-СОРБЦИОННОГО КОНЦЕНТРАТО- РА КИСЛОРОДА <i>Тишин А.А., Гуркин В.Н., Курчатов И.М.</i>	343
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХО- ДА ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ <i>Хлопотова Е. А., Григорьев Б. В.</i>	345
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО СНЯТИЯ ОСТАТОЧ- НЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИ- НЕНИЯХ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС ПОСЛЕ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НАКЛЕПА <i>Чулков Д.И., Минин С.И.</i>	347
СИНТЕЗ ГРАФЕНА МЕТОДОМ CVD. <i>Шинкарук В. Д., Рыбин М. Г., Образцова Е. Д.</i>	349
ЭЛЕКТРОМАССОПЕРЕНОС В БОРАТНО-БАРИЕВOM СТЕКЛЕ C78-5 <i>Шомахов З. В., Молоканов О. А., Кармоков А. М.</i>	351

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

SYNTHESIS AND IONIC CONDUCTIVITY OF RE-DOPED BARIUM CERATE

Bulaeva E.A.¹, Lupitskaya Yu.A.¹

¹*Chelyabinsk State University, Chelyabinsk
Tel: +7951-116-44-75, 13735446@mail.ru*

Solid solutions of $\text{BaCe}_{1-x}\text{Re}_x\text{O}_{3-\delta}$ with a perovskite-like structure are perspective materials for creating proton-conducting membranes in solid-state fuel cells and water-vapor electrolysis cells on their basis, since they possess ion-conducting and ion-exchange properties [1]. Through the defects in the anion sublattice (oxygen vacancies [2]), with formation in the cationic sublattice of the structure, ion and proton conductivity arise in the substitution of Ce^{4+} на Re (Pr, Nd, Sm, Gd) in the cation sublattice of the structure.

The features of the formation of $\text{BaCe}_{0.9}\text{Re}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (Re = Pr, Nd, Sm, Gd), solid solutions with a perovskite-type structure have been investigated in this work, and the effect of dopants on the ionic conductivity of barium cerate compounds has been studied.

The samples were obtained by standard solid-phase technology from the oxides BaCO_3 , CeO_2 , Re_2O_3 with a gradual increase the temperature of the synthesis in the interval 673-1373 K and repeated grinding. The chemical and phase composition of the reaction products was monitored by the methods of derivatography and X-ray analysis (Fig.1).

In the range of temperature 300-973 K, the dependence of the conductivity of the synthesized phases on the inverse temperature was studied on alternating current. It is shown that the value of the activation energy decreases, and the ionic conductivity increases with the ionic radius of the impurity ion. The maximum values of ionic conductivity are reached in the phase of composition $\text{BaCe}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$.

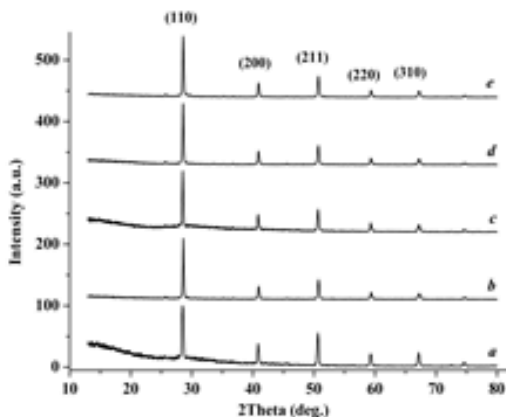


Fig.1. X-Ray diffraction plot for samples with composition **a** – BaCeO₃, BaCe_{0.9}Re_{0.1}O_{3-δ} (Re = **b** - Pr, **c** - Nd, **d** - Sm, **e** – Gd)

For ceramic samples of various compositions over a wide temperature range 300-1373 K, phase transitions associated with changes in the symmetry of the crystal lattice and the temperatures of the singular points are determined. It is to be expected that the electrical conductivity of the solid solutions under investigation at the established special points will increase by several orders of magnitude.

References

1. D. Medvedev. BaCeO₃: Materials development, properties and application. Progress in Materials Science. Vol.60. P.72 (2013).
2. M. Amsif, D. Marrero-Lopez, J.C. Ruiz-Morales. Influence of rare-earth doping on the microstructure and conductivity of BaCe_{0.9}Ln_{0.1}O_{3-δ} proton conductors. Journal of Power Sources. Vol.196. P.3461 (2011).

RECORDING AND RECONSTRUCTION DIGITAL HOLOGRAM OF MICRO PARTICLES OF DISPERSED PHASE

Dvornichenko M.¹, Kamenev¹

¹ ФГУП «ВНИИА», Москва
89670675985, dvornichenko_marina@mail.ru

This issue is about the method of particle's registration in dynamic processes using method of holography and mathematical processing, which allows getting distribution of micro particles in investigated volume.

It is analyzed images which were reconstructed using method cross-correlation function between hologram and scattered function for certain distance. Also it was investigated different samples of particles in different experimental conditions. [1]

Process of obtaining digital hologram is made numerically using virtual supporting wave, which calculated mathematically and has the same characteristics as a real wave. Rebuilt images are formed from summary front in the plane of reconstruction. It is a superposition of the integral of Fresnel Kirchhoff. This method allows reconstructing distribution of micro particles which have different sizes and different distances from the camera, also it is analyzed accuracy of this method of reconstruction images.

References

1. Ejecta Particle-Size Measurements in Vacuum and Helium Gas using Ultraviolet in-Line Fraunhofer Holography D.S. Sorenson, P.Pazuchanics, et al. LA-UR-14-24722 2014-06-25

INFLUENCE OF THE CONCENTRATION AND THICKNESS OF THE MEDIUM ON THE EFFECT OF COHERENT BACKSCATTERING ON CORUNDUM PARTICLES

Ismailov Sh. M.^{1,2}, Kamenev V. G.²

¹National research nuclear university MEPhI (Moscow engineering physics institute)

²N. L. Dukhov All-Russian Scientific Research Institute of Automatics
+7(988) 655-44-45, shamil.ismailov.1995@list.ru

The study of the dispersed phase dynamics in fast-flowing processes is an actual scientific task. One way to obtain information about the dispersed phase is to probe it with a coherent beam and then record the coherent effects in the back-scattered light [2].

The phenomenon of coherent backscattering of light consists of a sharp increase of the intensity of light is strongly dissipated by inhomogeneous environment at a small solid angel. The direction is opposite to the direction of light [1].

Experiments were carried out to register CDB from wedge-shaped samples containing corundum particles at two different concentrations, 720 mg / cm³ and 540 mg / cm³. As the shape of the samples is wedge, it is possible to adjust smoothly the thickness of the medium. Each of the two samples was registered at thicknesses of 0.2, 0.6 and 1 mm, see Figures 1 and 2.

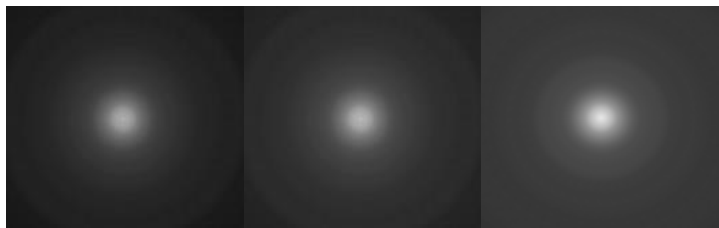


Figure №1 - The image from the detected KOP signal at a concentration of 540 mg / cm³

A disadvantage of majority of CBS registration systems is the impossibility of smooth adjustment of the thickness of the sample a dispersed environment. The thickness of the sample is controlled by changing the number of discrete layers. A smooth adjustment of the thickness of the sample makes it possible to provide greater efficiency and informative

nature of ongoing researches and this adjustment allows specifying the influence of dispersed medium on the peak of coherent scattering [3].



Figure №2 - The image from the detected KOP signal at a concentration of 720 mg / cm³.

The registered illustration contained data about the profile of an angular distribution of backscattered radiation. The noises were eliminated owing to an axial averaging.

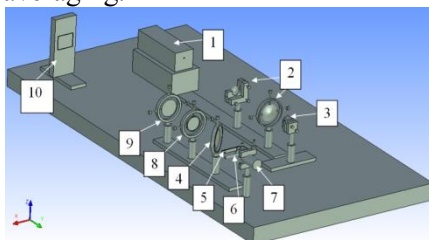


Figure №3 - A schematic optical diagram of static installation 1 – laser illuminator; 2 – telescope; 3 – mirror; 4 – semitransmitting mirror; 5 – wedge-shaped sample; 6 – plate; 7 – motor; 8 – polarizer; 9 – lens; 10 – registrar.

From the results one may obtain new scientific data on the structure of coherent backscattering from randomly inhomogeneous media.

References

1. В.Л. Кузьмин, В.П. Романов // УФН т.166 (№3), Март 1996 г.
2. Martin van der Mark, M. P. van Albada and A. Lagendijk, Phys. Rev. Lett. 37, 3575 (1988).
3. D. Kroon, S. Lönn – «Utilizing enhanced backscattering for determination of scattering properties in turbid media» - Lund Reports in Atomic Physics, PHYM01, 20111, 2011.

VISUALIZING TOPOLOGICAL CHARGE TRANSPORT

Lizunova M.A.^{1,2}, Morais Smith C.¹, van Wezel J.²

¹ *Utrecht University, Utrecht*

² *University of Amsterdam, Amsterdam*

+31 626734628., mary.lizunova@gmail.com

It is well known the Harper equation describing the integer quantum Hall effect (IQHE) in two dimensions, also gives a mean-field description of charge-density wave (CDW) materials in one dimension. In particular, the quantized adiabatic transport (Thouless pumping [1]) in charge ordered systems corresponds directly to topological transport between edge states upon insertion of a flux quantum in a quantum hall cylinder (Laughlin's gauge argument [2]). Despite intense studies, the detailed dynamics of topological charge transport in the IQHE cylinder remains difficult to visualize due to the presence of gauge symmetry. We exploit the similarities between IQHE and CDW systems, and the absence of gauge symmetry in the latter, to demonstrate details of topological pumping, i.e., how the electrons flow from one edge to the other. We introduce a particular mean-field CDW model, numerically diagonalize the Hamiltonian matrix and plot the wave functions, which reveal the edge states and the mobility edge. In addition, we verify their robustness to randomly distributed weak impurities. The analysis of the results allows one to visualize non-adiabatic and adiabatic (Thouless) pumping.

References

1. D.J. Thouless. Quantization of particle transport. Phys. Rev. B. Vol.27. P.6083 (1983).
2. R.B. Laughlin. Quantized Hall conductivity in two dimensions. Phys. Rev. B. Vol.23. P.5632 (1981).

LUMINESCENCE PROPERTIES OF Er^{3+} DOPED KPb_2Cl_5 AND RbPb_2Br_5 CRYSTALS

Serazetdinov A.R.^{1*}, Smirnov A.A.¹, Pustovarov V.A.¹ and Isaenko L.I.²

¹ *Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia*

² *Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

*E-mail: mrsuglikov@gmail.com Tel: 89827216955

The rare earth doped (potassium, rubidium)-lead double (chloride, bromide) APb_2X_5 : ($\text{A}=\text{K}, \text{Rb}$; $\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}$) crystals comprise the materials with essentially reasonable UV and IR light emitting spectra characteristics for fibre optics applications. The change in the doping ions concentration in the lattice as well as doping with additional (non-erbium) ions alter the luminescence spectra so that medium with appropriate performance might be derived [1].

In current work the research concerned two Er^{3+} doped crystal samples, namely $\text{RbPb}_2\text{Br}_5:\text{Er}^{3+}$ and $\text{KPb}_2\text{Cl}_5:\text{Er}^{3+}$.

The comprehensive investigation was conducted on luminescence spectra dependence over excitation energy. Also the goal was to reveal the actual upconversion luminescence dependence over temperature and match the results obtained with theoretical conclusion of Er^{3+} levels population through Judd-Ofelt method. During this investigation kinetic curves were measured for Er^{3+} f- levels relaxation.

Crystals were grown in Institute of Geology and Mineralogy SB RAS (Novosibirsk). Crystal validation methods are described in [2].

Excitation energy dependences were measured under 90 K and 300 K temperatures and include 980 nm, 380 nm, 365 nm and roentgen excitations. Upconversion (980 nm excitation) luminescence spectra were measured at temperature range from 90 K up to 413 K for $\text{KPb}_2\text{Cl}_5:\text{Er}^{3+}$ and up to 358 K for $\text{RbPb}_2\text{Br}_5:\text{Er}^{3+}$. Kinetics were measured for defined wavelength at 25 K.

We have discovered the dependence of luminescence spectra on the temperature of the sample for a predetermined excitation energy.

The measurements revealed significant luminescence spectrum change in both crystals for erbium ion emission wavelengths of 530 and

550 nm (transfers $2H_{11/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ and $4S_{3/2} \rightarrow 4I_{15/2}$) which are of deep interest for fibre optics applications.

Kinetics for abovementioned wavelengths under the different excitation energies have been measured. These dependencies allowed us to assume the respective energy transactions through the rare-earth ion, including non-radiative multiphonon relaxation process. As the transaction life time for determined energy is in correlation to the level population probability (through Judd-Ofelt equations) we have calculated the Judd-Ofelt predictions and compared them with the results of kinetic measurements and luminescence spectra parameters derived in our researches.

Some of the research results related to temperature dependencies (980 nm excitation) are presented in Fig. 1. As it is seen from the spectra the luminescence is efficiently influenced by temperature so that 980 nm excitation efficiency with higher temperatures is lower at 490 nm and higher at 510 and 550 nm.

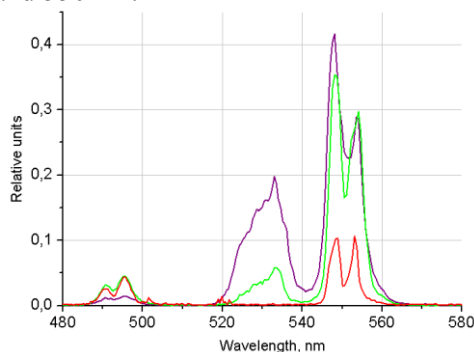


Fig1. Upconversion spectra of KPb₂Cl₅: Er³⁺ crystal at 90 K (red), 267 K (green) and 413 K (purple)

References

1. Isaenko L., Yelisseyev A., Tkachuk A., Ivanova S. et al., Materials Science and Engineering B., 81, 188 (2001).
2. Pustovarov V.A., Ogorodnikov I.N., Kuzmina N.S., Smirnov A.A. et al., HASYLAB Annual Repor, 277-278 (2004).

INVESTIGATION ON THE BAND GAP OF THE $\text{GaAs}_{(1-x)}\text{Bi}_x$ THIN MBE-GROWN LAYERS

Shima J. Amiri^{1,2}, Yury A. Mityagin^{1,3}, Maksim P. Telenkov^{1,2}, Igor P. Kazakov¹, Sergei A. Savinov¹

¹ LPI RAS, Moscow

² MISIS, Moscow

³ MEPhI, Moscow

+0079773188638, amiri_shima_1369@yahoo.com, Shima J. Amiri

The progress made in physics and technology of semiconductors depends mainly on two families of materials: the group IV elements and the III-V compounds.

In the past few years, new III-V alloy semiconductors such as $\text{GaAs}_{(1-x)}\text{Bi}_x$ has attracted great interest owing to its unique combination of properties that make it potentially useful for devices. The biggest advantage of alloying Bi with GaAs is a faster decrement in the band gap of GaAs (60-90 meV/%Bi) than in other cases, with less detrimental effects [1]. Weaker band gap temperature dependence than that in popular III-V semiconductor alloys make $\text{GaAs}_{(1-x)}\text{Bi}_x$ an interesting active layer material for GaAs-based devices [2]. Other advantage of $\text{GaAs}_{(1-x)}\text{Bi}_x$ is higher spin-orbit splitting energy which is useful for spin-based semiconductor devices. This is because of Bi being the heaviest nonradioactive element, and, therefore, having a large spin orbit splitting [3].

In this paper, we report the results of band gap studies of the $\text{GaAs}_{(1-x)}\text{Bi}_x$ epilayers grown by molecular beam epitaxy (MBE) on semi-insulated substrates. The band gap was determined from photo-conductivity spectra (Figure1,2). The characteristics of the samples are given in Table 1.

Table 1. Characteristics of the samples

Sample number	Film thickness, nm	Upper layer, nm	Concentration of Bi, x	Growth temperature, C
623	1500	0	~0.03	350
624	1200	0	>0.03	330

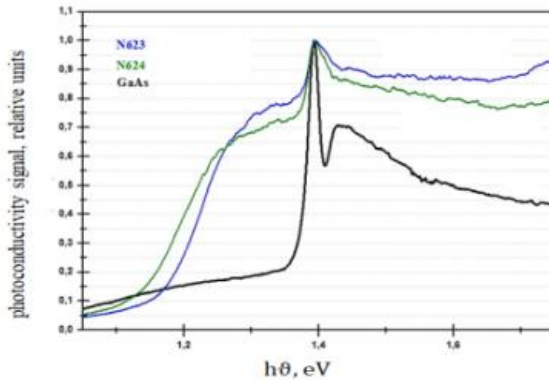


Figure1. Photoconductivity spectrum of the N623(blue), N624(green) and GaAs (black line).

The bandgap was determined from the photoconductivity spectra according to the formula (1):

$$U_{pc}^2 = \frac{D(h\theta - E_g)}{(h\theta)^2} \quad (1)$$

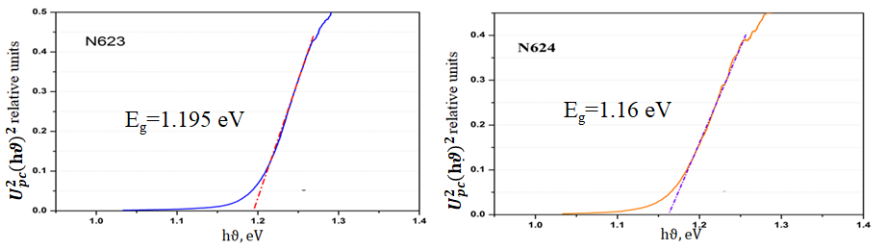


Figure2. The value $U_{pc}^2 (h\nu)^2$ dependence on the photon energy ($h\nu$)

References

1. K.K. Nagaraja, Yu.A. Mityagin, M.P. Telenkov, and I.P. Kazakov, "GaAs_(1-x)Bi_x: A Promising Material for Optoelectronics Applications", Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, **42**(3), 239-265 2017
2. K. Oe and H. Okamoto, "New Semiconductor Alloy GaAs_(1-x)Bi_x Grown by Metal Organic Vapor Phase Epitaxy", Japanese Journal of Applied Physics. Vol.37. P.1283–1285 (1998)
3. B. Fluegel, S. Francoeur, and A. Mascarenhas, "Giant Spin-Orbit Bowing in GaAs_{1-x}Bi_x", Phys. Rev. Letters, **97**, 067205 (2006)

EMISSION OF PHOTONS AND PLASMONS BY BALLISTIC ELECTRONS IN NANOSCALE CONTACTS

**Shuklin F. A.¹, Smetanin I. V.², Protsenko I. E.²
and Uskov A. V.²**

¹ National Nuclear Research University MEPhI, Moscow, Russia

² P. N. Lebedev Physical Institute, Leninsky pr. 53, 119991 Moscow, Russia
конт. тел.: 8 (999) 824-40-92, e-mail: fedor.shuklin.95@mail.ru

The effective electrical excitation of surface plasmon waves becomes an extremely important challenge for developing integrated elements for on-chip nanophotonics technology – see [1] and references therein. In [2], it was suggested to use metal nanocontacts with ballistic transport of electrons in order to generate plasmons. Possible mechanism of plasmon emission by electrons in these nanostructures is the *bremsstrahlung* effect in collisions of electrons with the effective potential, defined by the transverse shape of nanocontact, and with the wall of nanostructure [2].

In this work, we continue studies of [2], and calculate emission of the plasmon-polaritons by ballistic electrons in nanoscale contacts of various shapes. Fig.1(a) illustrates a cylindrical nanowire with constriction, characterized with the radius $R(z)$, changing slowly along the axis z ; the nanowire has a constriction with the minimal radius $R_{\min}$, and the characteristic length L_c . The constriction is placed inside surface plasmon-polariton (SPP) mode – see Fig.1a. The constriction can be described by effective potential $U_n(z)$. Inset in Fig.1(b) shows our model: an electron with the initial energy u_0 passes through nanoscale constriction, collides with the effective potential $U_n(z)$ and emits the quantum $\hbar\omega$. Curve in Fig.1(b) shows the stimulated emission rate $P_{stim}(F)$ as function of the slope F of $U_n(z)$ at the turning point (slope of the dash line in inset) of the electron with the energy u_1 after emission. The curve clearly demonstrates that the emission rate in nanoconstriction with slowly varying radius (and correspondingly, with more slightly sloping effective potential) can be much larger than in nanocontacts with sharply changing radius.

This result can be interpreted as follows: the electron, colliding with more slightly sloping effective potential, has longer time to emit a quan-

tum of electromagnetic oscillations. Since the rates of spontaneous and stimulated emission are related to each other with Einstein's relationships, the results of the work indicate that the spontaneous emission in nanocontacts with proper design can also be increased.

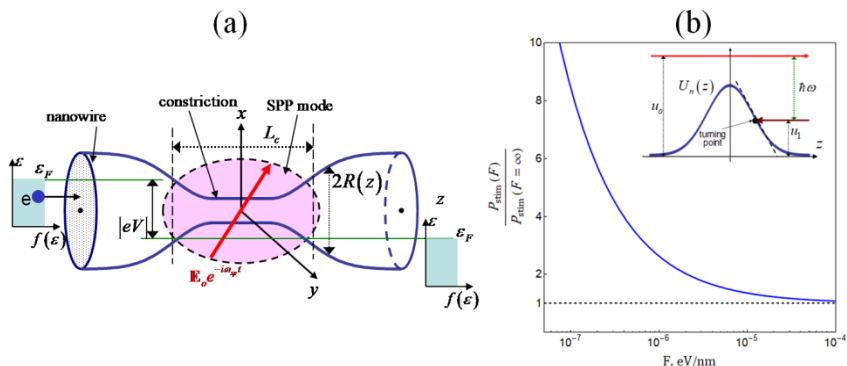


Fig.1: (a) A cylindrical nanowire with constriction inside surface plasmon-polariton (SPP) mode; (b) Stimulated emission rate normalized to $P_{stim}(F \rightarrow \infty)$ as a function of slope F

Acknowledgements—A.U. and I.S. are thankful to Russian Science Foundation (Grant 17-19-01532) for support. The work of A.F., I.P., and A.U. is done, in part, in the frames of the Joint Research Project PRS CNRS/RFBR (Grant RFBR-17-58-150007).

References:

1. J. Kern, R. Kullock, J. Prangma, M. Emmerling, M. Kamp, and B. Hecht. Electrically driven optical antennas. *Nature Photonics*. Vol.9. P.582-586 (2015).
2. A. V. Uskov, J. B. Khurgin, M. Buret, A. Bouhelier, I. V. Smetanin, I. E. Protsenko. Biased Nanoscale Contact as Active Element for Electrically Driven Plasmonic Nanoantenna. *ASC Photonics*. Vol.4. P.1501-1507 (2017).

METHODS AND TECHNIQUE FOR DIGITAL REGISTRATION OF HIGH-SPEED GAS DYNAMICS PROCESSES

Turkin V.N., Kuzin V.M., Shubin A.S.

*Federal State Unitary Enterprise All-Russia Research Institute of Automatics,
Suschevskaya str.22, Moscow, Russia; phone: 8 (926) 398-20-57; E-mail:
vturkin@vniia.net*

There are different methods and technics for registration of high-speed gas dynamics processes such as detonation, shock waves, moving of surface. Investigation and registration of such process is very important for different fields of science and for development of some high technological products. Registration and receiving knew knowledge about this processes is impossible without modern high-precision technics.

Very often for investigation of such process are used electrocontact sensors [1] and optical fiber sensors [2]. To measure signals from this sensors are used multichannel recorders of electrical pulses, high-speed rotating mirror photochronographic cameras, multichannel recorders which are based on photo diode sensors.

In the report it is presented some methods and techniques which are used to register such processes. It was made a review and comparison of latest developments in digital high-speed rotating mirror cameras [3-4]. Also, it is presented results which were obtained during combination of different methods of registration to measure speed of detonation.

References:

1. Даниленко В.В., Куракин Н.И., Козерук Н.П. «Электроконтактная методика регистрации (x,t) – диаграмм» Физика горения и взрыва. – 1989. – Т.25, №5. – С.89-92.
2. Kozeruk N.P., Danilenko V.V., Telicko I.V. «Optical Fiber Gauges for Gas-Dynamic Investigations». 20th Intern. Congress on High Speed Photography and Photonics// SPIE. V. 1801. High-Speed Photography and Photonics (1992) P.138-147.
3. Ronald S. Leahy, Joseph W. Ovellette, Steve H. Holtman, William L. Larkin. Digital streak camera with rotating mirror. // United States Patent – No.: US9,020,336 B1. – apr.28, 2015.

4. Дулин О.Н., Кузин В.М., Туркин В.Н., Захаров А.Е., Казачков Ю.П., Скегин В.Р. Приборный комплекс СКПФ254 для цифровой фотохронографической регистрации быстропротекающих процессов // Приборы и техника эксперимента. – 2015. – №4. – С.144-146.

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ НА СВОЙСТВА ДИОКСИДА ТИТАНА

Алиев С.А., Бабкина Т.А., Вега И., Коньема М.С., Чехлова Т.К.

*RUDN University (Moscow, 117198, Russia)
+79268869784, e-mail: altersam@mail.ru*

Диоксид титана является эффективным фотокатализатором для целого ряда химических реакций [1]. Его фотокаталитические свойства обусловлены формированием на поверхности в процессе освещения ряда радикалов или парамагнитных центров (ПЦ), которые способны вступать во вторичные реакции. Наноструктурированный диоксид титана в структурной форме анатаза позволяет увеличить выход реакции фотоокисления на несколько порядков за счет увеличения площади удельной поверхности.

Большая площадь удельной поверхности диоксида титана в структурной форме анатаза делает его перспективным материалом также для создания эффективных солнечных фотоэлементов, так как при наноструктурировании увеличивается поглощательная способность материала.

С целью расширения спектральной полосы поглощения и увеличения амплитуды поглощения материала для увеличения фотокаталитической активности используют легирование диоксида титана наночастицами металлов. Кроме того, введение таких частиц в композитную пленку приводит к появлению качественно новых физических свойств [2].

В работе исследовались физико-химические и оптические свойства композитных пленок диоксида титана с металлами, изготовленных по гель технологии. Проведено сравнение структуры пленок диоксида титана, синтезированных по разным технологиям. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии показаны температуры фазовых переходов нанокристаллических модификаций диоксида титана (Рис.1). Были добавлены наночастицы металлов разной концентрации в пленки и исследованы спектры пропускания образцов [3-4].

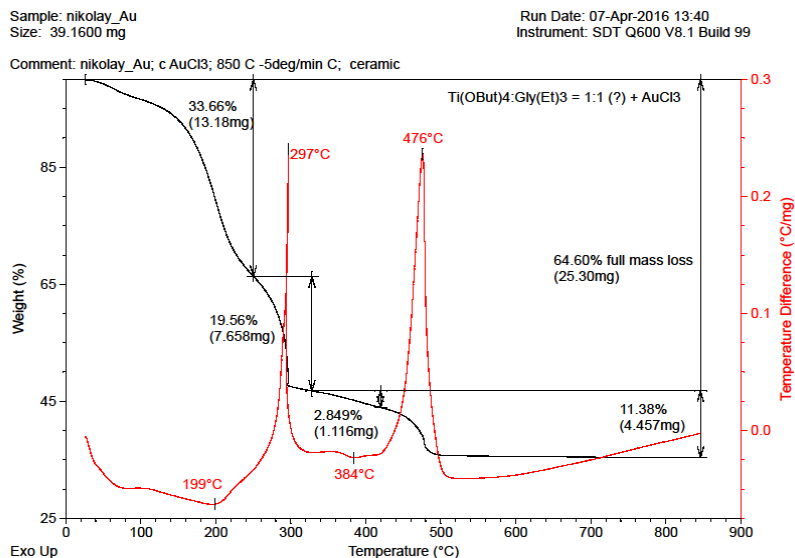


Рисунок 1. ДСК пленки с содержанием наночастиц золота.

Литература

1. Fujishima A, Hashimoto K and Watanabe T 1999 TiO₂ Photocatalysis. Fundamentals and Applications (Tokyo: BKC Inc.).
2. Karpov S V and Slabko V V 2003 Optical and photophysical properties of fractal-structured metal sols (Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS).
3. Zaeв D.A., Trofimov N.S., Chekhlova T.K., Mikhaleiko I.I. Preparation and activity of TiO₂ gel with additions of Au, Cu, and CNT in photodegradation of dyes. Collection of materials of the VI All-Russian Conference on Nanomaterials. (NANO – 2016 Moscow. 22 – 25 november 2016 595 – 596).
4. Aliev S.A., Trofimov N.S., Chekhlova T.K., Properties of TiO₂ films with gold nanoparticles Journal of Physics Conference Series 737(1) 012036(August 2016 737-744).

ПРИМЕНЕНИЕ ИК СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТОПЛИВА

Алыкова О.М., Смирнов В.В., Лихтер А.М.

Астраханский государственный университет, Астрахань

На производственных объектах часто возникают опасные ситуации, вызванные накоплением вредных веществ в воздухе, что может привести к отравлению рабочего персонала, а также к взрыву. Для обеспечения безопасности в таких случаях применяют стационарные газоанализаторы, которые установлены в определенных местах помещения. Но накопление веществ может происходить не во всем помещении, а на отдельных участках, например, где ведутся сварочные работы. В этом случае газоанализатор, расположенный на большом расстоянии от места работы не способен оперативно зафиксировать превышение ПДК. Возникает проблема индивидуального мониторинга качества воздуха именно на рабочем месте. [1-3]

Проведен анализ лабораторных и промышленных анализаторов состава многокомпонентных газовых смесей, использующих методы ИК-спектроскопии и газовой хроматографии, из которого сделан вывод о возможности решения задачи экспресс-анализа состава газовой смеси на основе разработки малогабаритного быстродействующего ИК-газоанализатора, работающего либо по схеме прямого отсчета, либо по дифференциальной схеме.

Для выбора измерительной схемы выполнено экспериментальное исследование ИК-спектров поглощения многокомпонентной смеси продуктов сгорания автомобильного топлива. Определение концентраций отдельных компонент осуществлялось с помощью газового хроматографа. Анализ полос поглощения оксида углерода показал возможность их выделения без применения оптической фильтрации сигнала по схеме прямого отсчета.

Рассмотрена методика аналитического описания полос поглощения многоатомных газов на основе квантово-механических методов и компьютерного моделирования [4].

Предложены виды функций, удовлетворительно описывающие данные полосы и построены зависимости их параметров от концентрации оксида углерода в воздухе. С помощью созданной математической модели рассчитана предполагаемая градуировочная кривая разрабатываемого устройства.

Литература

1. Гмырин В.В., Лихтер А.М., Макухин А.А., Джалмухамбетова Е.А. Разработка устройства для оперативного контроля содержания газа в многокомпонентной газовой смеси. Материалы международной научной конференции: Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «Астинтех – 2012», 10-13 мая 2012 г, Астрахань: Изд-во АИСИ, 2012г. – С. 144 - 146.
2. Лихтер А.М. Оптимальное проектирование оптико-электронных систем: Монография. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2004г., 241 с.
3. Лихтер А.М., Гмырин В.В., Тайтенова А.А.. Устройство для оперативной регистрации превышения ПДК по оксиду углерода в атмосферном воздухе. Материалы международной научно – методической конференции «Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля - фундамент подготовки специалистов будущего. Издательство «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 2012 г., С. 207 – 210.
4. Элькин М.Д., Алыкова О.М., Степанович Е.Ю., Лихтер А. М., Джалмухамбетова Е.А. Спектральная идентификация метанола в окружающей среде. Газ, раствор, жидкость. Материалы Международной научной школы для молодежи «Школа научно-технического творчества и концептуального проектирования». Региональной научно-практической конференции «Исследования молодых ученых – вклад в инновационное развитие России». Астрахань, Издательский дом «Астраханский университет», с. 91-95.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КОЛЕЦ

Анищенко И.В.¹, Покровский С.В.¹, Руднев И.А.¹

¹ НИЯУ МИФИ, Москва
8-(977)-617-01-75, mephizic@gmail.com

Высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) магниты на основе REBCO находят широкое применение в качестве элементов левитационных подвесов, гибридных магнитов, магнитных подшипников. Один из вариантов реализации магнитной системы - замкнутые кольца. Как известно, замкнутый СП контур позволяет поддерживать созданное магнитное поле без внешнего источника питания. Поэтому важной характеристикой СП кольца является его способность захватывать магнитный поток [1-3].

В этой работе мы представляем исследование системы магнитной левитации, основанной на ВТСП кольцах из ленточного высокотемпературного сверхпроводника $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Разработана комплексная модель магнита на основе ВТСП колец. Для расчета использовались магнитные и транспортные характеристики промышленных сверхпроводников, а также учитывали тепловые свойства каждого слоя высокотемпературной сверхпроводящей ленты и особенности ее слоистой структуры [4].

Моделирование выполнено методом конечных элементов. Проведен расчет параметров магнитной системы во внешних полях различных конфигураций. Проведен расчет магнитных полей, токов, намагниченности, силы левитации для различных геометрических параметров намагничиваемых колец. Проведено сравнение с экспериментальными результатами по измерению намагниченности и силы левитации над кольцевым ВТСП магнитом.

Литература

1. Kyohei Ogawa, Takashi Nakamura, Yasuhiko Terada et al. // Applied Physics Letters. 2011. V. 98. P. 234101.
2. Kim S.B., Takano R., Nakano T. et al. // Physica C. 2009. V. 469. P. 1811–1815.

3. Краснощёров Е.П.//Журн. технической физики. 2010. Т. 80. Вып. 10. С. 142–144.
4. Zhang M., Matsuda K., Coombs T. A. “New application of temperature-dependent modelling of high temperature superconductors: Quench propagation and pulse magnetization”, Journal of Applied Physics. 2012. V.112. Issue 4, 043912

КИНЕТИКА ТРАВЛЕНИЯ (100) МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ВОДОРОДНОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ ПЛАЗМЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ *IN SITU* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОКОГЕРЕНТНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ И ОПТИЧЕСКОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Антонова И.А.^{1,2}, Юров В.Ю.^{1,2}, Бушуев Е.В.², Большаков А.П.^{1,2,3}, Ашкинази Е.Е.², Ральченко В.Г.^{1,2,3}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г.Москва

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г.Москва

³Harbin Institute of Technology, Harbin, P.R. China

тел.: +79263666982, e-mail: vil2276@gmail.com

Травление атомарным водородом в СВЧ-плазме является важным процессом подготовки поверхности монокристаллического (МК) алмаза к последующему росту в $\text{CH}_4\text{--H}_2$ смеси. Плазменное травление так же может быть эффективно использовано для идентификации типа, плотности и распределения дислокаций в CVD монокристалле высокого качества.

Низко когерентная интерферометрия была использована для измерения *in situ* скорости травления синтетических монокристаллических алмазов в микроволновой плазме H_2 в широком диапазоне 800-1370°C температур подложки [1]. Метод позволяет быстро получать большое количество кинетических данных при различных температурах одного образца без выключения плазмы. Хотя данные о травлении монокристаллического алмаза востребованы для алмазной CVD (Chemical vapor deposition) технологии, экспериментальные исследования по травлению все еще немногочисленны [2].

Травление образцов МК алмаза проводилось с использованием CVD-реактора ARDIS-100 (ООО «Оптосистемы»), работающего на частоте 2,45 ГГц [3]. Использовались пластины алмаза двух типов – CVD и HPHT (High Pressure High Temperature) типа IIa с ориентацией (100) и характерными размерами $5 \times 5 \times 0,5$ мм³. Процесс травления проводился в чистом H_2 (99,99999%) при давлении $p = 130$

Торр, скорость потока газа 0,45 ст. л/мин температура подложки варьировались от 800 до 1370°C, плотность мощности СВЧ-излучения 300 Вт/см³. Требуемая температура подложки устанавливалась путем изменения мощности СВЧ генератора в диапазоне 2,9 - 4,0 кВт. Температура подложки измерялась двухлучевым пирометром Williamson PRO-81-35-C через боковое окно камеры CVD-реактора.

Измеренные скорости травления $E_R(T)$ хорошо соответствовали Аррениусовским (экспоненциальным) зависимостям. Определена энергия активации E_a , которая составила 42 ± 5 ккал моль⁻¹ для CVD образца и 32 ± 4 ккал моль⁻¹ для НРНТ образца. Выявлена повышенная скорость травления «приповерхностного» дефектного слоя, толщина которого составляет приблизительно 1 мкм. Этот слой сформировался при полировке образцов на органичном круге.

С помощью оптической эмиссионной спектроскопии, во время травления в плазме Н₂ регистрировались спектры СН и С₂. Показано, что интенсивность этих спектров растёт по мере увеличения скорости травления подложки (Рис.1).

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 14-12-01403-П.

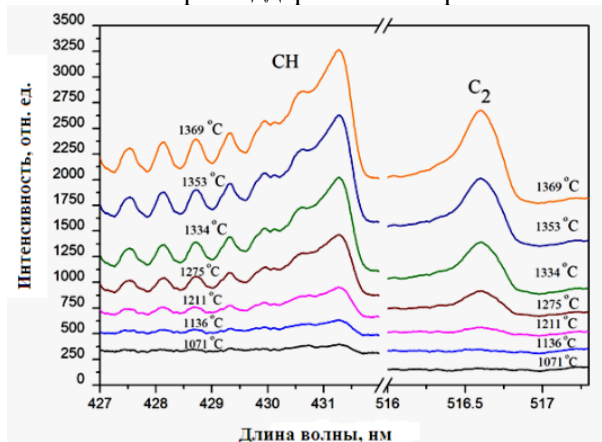


Рис. 1. Спектры OES для СН и С₂ для разных температур CVD образца. Интенсивность линий увеличивается благодаря усиленному травлению при более высоких температурах образца. Для ясности спектры сдвинуты по вертикали.

Литература

1. E.V. Bushuev, V.Yu. Yurov, et al. Diamond Related Materials. Vol. 66, P. 83–89 (2016).
2. O.A. Ivanov, A.B. Muchnikov, et al. Materials Letters. Vol. 151 P. 115-118, (2015).
3. A.P. Bolshakov, V.G. Ralchenko, et al. Diamond Related Materials. Vol. 62, P. 49–57 (2016)

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Антоновская В.В.¹, Рзаев Р.А.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань
Конт. тел.: 89064582895, e-mail: var3999_96@mail.ru

Медные и алюминиевые сплавы широко применяются как технические материалы из-за их конструкционных свойств, такие как превосходная устойчивость к коррозии, податливость, теплопроводность и электропроводность [0].

Такие соединения будут способствовать снижению массы и затрат на изготовления сварных узлов, уменьшению использования объема драгоценных металлов. Однако из-за большой разницы в их физических и химических свойствах, отличающаяся комбинация меди и алюминия обычно соединение более затруднена [1].

Сварка трением с перемешиванием (СТП) является твердофазным способом сварки, который позволяет соединять разнородные материалы с более различными физическими и механическими свойствами, такими как Al–Mg, Al–Ti, Al–steel, Al–Cu [2]. Взаимное расположение свариваемых образцов показано на рис. 1.

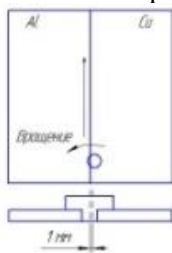


Рис. 1 Схематическая иллюстрация разнородного соединения при СТП Al-Cu

В процессе СТП на образование сварного шва отвечает взаимное расположение листов разнородных материалов. Плохая морфология поверхности получается, когда медный сплав расположен на набегающей стороне (алюминиевый сплав на отходящей стороне) на рис. 2. Это объясняется различием в их теплофизических свойствах. Алюминий обладает лучшей пластичной текучестью и заполняемостью при той же температуре обработки, что гарантирует перенос материала в сверх-

пластичном состоянии (СПС) от отступающей стороны к набегающей стороне [3].



Рис. 2. Поверхность сварного шва (скорость вращения инструмента $\omega=1000$ об/мин, угол наклона инструмента, скорость сварки $v=20$ мм/мин $\alpha=3^\circ$): а- сторона набегающая медный сплав; б- сторона набегающая алюминиевый сплав

На рис. 3 показаны поверхности и поперечные сечения соединений Al- Cu, полученных при разных скоростях сварки. На микрошлифе наблюдается дефект в области ядра, который указывает на неполное перемешивание между Al и Cu. Это несплавление обычно связано с недостаточным потоком материала в СПС, которое вызвано дефицитом вводимой теплоты [4].



Рис. 3. Внешний вид сварного шва (скорость вращения инструмента $\omega=900$ об/мин, угол наклона инструмента $\alpha=3^\circ$): а, в- внешняя поверхность и микрошлиф (скорость сварки $v=25$ мм/мин); б, г- внешняя поверхность и микрошлиф (скорость сварки $v=50$ мм/мин).

Литература

1. Q. Zhang, Microstructure and mechanical properties of dissimilar Al-Cu joints by friction stir welding/ Q. Zhang, W. Gong, W. Liu // Trans. Nonferrous Met. Soc. China.- 2015.- 25.- P. 1779–1786.
2. CHEN Y C, NAKATA K. Microstructure characterization and mechanical properties in friction stir welding of aluminum and titanium dissimilar alloys [J]. Materials and Design, 2009, 30: 469–474.
3. KOSTKA A, COELHO R S, dos SANTOS J, PYZALLA A R. Microstructure of friction stir welding of aluminum alloy to magnesium alloy [J]. Scripta Materialia, 2009, 60: 953–956.
4. Schmidt H., Hattel J. and Wert J. An analytical model for the heat generation in friction stir welding// Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. 12 (2004) 143–157

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ СТАЦИОНАРНОЙ ФАЗЫ РЕЗОНАНСНОГО МИКРОВОЛ- НОВОГО РАЗРЯДА В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ (Ar, He) ФОРВА- КУУМНОГО ДИАПАЗОНА ДАВЛЕНИЙ

Асанина С.Г.¹, Андреев В.В.¹, Василеска И.², Корнеева М.А.¹

¹ *Российский университет дружбы народов, г. Москва, РФ*

² *Люблянский университет, г. Любляна, Словения
тел: +79152524918, sofia.asanina@yandex.ru*

Исследование радиационных процессов в микроволновой плазме форвакуумного диапазона давлений представляет интерес для практических приложений в области газоразрядных СВЧ источников излучений. Как было показано [1], в таких разрядах реализуются режимы с высокой светоотдачей. Целью данной работы является рассмотрение особенностей пробоя и времени формирования разряда в аргоне и гелии в указанном диапазоне давлений рабочего газа.

Разряд генерировался в кварцевой колбе, соосно помещённой в цилиндрический TE₁₁₁ резонатор, который располагался в магнитном поле компактной пробочной ловушки. Импульсный режим магнетронного генератора (2.45 ГГц) обеспечивался модулятором с частичным разрядом накопительной емкости и позволял варьировать длительность и частоту повторения импульсов. Для определения величины мощности, поглощенной плазмой разряда, СВЧ тракт был оснащен прокалиброванной системой измерения подводимой и отраженной мощности. Стационарное магнитное поле пробочной конфигурации создавалось постоянными магнитами (SmCo₅) с системой магнитного замыкания. Изменение длины пробочной ловушки с помощью микрометрической подачи магнитов обеспечивало поддержание резонансного значения индукции магнитного поля (875 Гс) в пределах рабочего объема кварцевой колбы. Подготовка рабочей газовой смеси и плавное изменение давления в рабочем объеме ($1 \cdot 10^{-4}$ – 10^1 Торр) осуществлялось с помощью пьезоэлектрического натекателя. Разрядная камера была снабжена

вакуумно-плотным портом с увиолевым окном, используемым для наблюдения и измерений оптического излучения плазмы разряда.

Процесс формирования разряда можно условно поделить на два основных этапа: пробой при котором происходит скачкообразное изменение уровня поглощенной мощности и плазмообразование, характеризующееся нарастанием светового потока [2]. Показано [1], наличие режима повышенной светоотдачи в режимах со сверхкритическим значением плотности плазмы для рабочей частоты. Для аргона и гелия данный режим реализуется при различных характерных значениях давления: $\sim 5 \cdot 10^{-3}$ Торр (Ar) и $\sim 4 \cdot 10^{-2}$ Торр (He). Измерения проводились в широком диапазоне изменений скважности и длительности импульса. Изменение скважности не оказало существенного влияния на время пробоя. При мощности $P > 200$ Вт (давление $p > 5 \cdot 10^{-3}$ Торр) время пробоя практически не зависит от мощности и составляет 1.1 ± 0.2 мкс (Ar) и 2.8 ± 0.2 мкс (He). Уменьшение мощности приводит к увеличению времени пробоя. В режиме повышенной светоотдачи ($p > 5 \cdot 10^{-2}$ Торр, $n > 3 \cdot 10^{11}$ см⁻³) наблюдается резкое возрастание поглощенной мощности вплоть до 95%. В этих условиях длительность времени плазмообразования оказывается существенно больше времени пробоя (~ 60 мкс). Измерения показали, что время плазмообразования изменяется в зависимости от подводимой мощности и, в отличие от времени пробоя, не коррелирует со скважностью и не зависит от давления газа.

Литература

1. В.В. Андреев, И.А. Волдинер, М.А. Корнеева // Прикладная физика, 2016. №2. С. 51.
2. O.D. Cortázar, A. Megía-Macías, and Alvaro Vizcaíno-de-Julián // Plasma science, vol. 40, no. 12, pp. 3409-3419, Dec.2012.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашения: № 02.а 03.21.0008. и 3.2223.2017/4.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ НЕОДНОРОДНОЙ ФЛУКТУИ- РУЮЩЕЙ ПЛАЗМЫ НА ПРИМЕРЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА В КАНАЛЕ ЗЕМЛЯ–ИОНОСФЕРА

Белов С.Ю.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва*

84955928077, Belov_Sergej@Mail.Ru

В работе рассматривается задача дистанционной диагностики неоднородной флуктуирующей плазмы и «шероховатой» земной поверхности, а также диэлектрических подповерхностных структур в КВ-диапазоне [1]. Выбор КВ-диапазона позволяет учитывать подповерхностный слой (толщины порядка длины волны падающего излучения) [2]. Интерпретация получаемых данных производится на основе статистической мультипликативной модели сигнала.

При этом в качестве параметра, характеризующего рассеивающую способность радиоволн неоднородной флуктуирующей плазмой и земной поверхности, используется соотношение сигнал/шум. Идея метода определения этого параметра заключается в том, что, располагая синхронной информацией о волне, отражённой от ионосферы и о волне, отражённой от земли и ионосферы (или прошедшей ионосферу дважды при зондировании со спутника), возможно извлекать информацию о параметре рассеяния земной поверхности [3]. Тестирование произведено на примере двукратного отражения от ионосферы при вертикальном зондировании [4].

Для получения необходимых экспериментальных данных используется импульсный метод когерентного приёма [2]. Этот метод позволяет регистрировать низкочастотные квадратурные составляющие ионосферного сигнала $E_c(t)$, $E_s(t)$.

Модернизация обеспечила регистрацию на ЭВМ упомянутых параметров сигнала одновременно для сигналов различной кратности. Это достигнуто применением специальной многоканальной системы стробирования и регистрации [2]. В работе представлены образцы регистрации квадратурных

компонент сигнала с помощью наземного измерительного комплекса установки когерентного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн на тестовом полигоне МГУ для первого отражения. Установка позволяет осуществлять одновременную регистрацию параметров кратных ионосферных отражений, причём даже с использованием ЭВМ с не очень высоким быстродействием за счёт применения оригинальных алгоритмов оптимизации: патент – [5].

Заключение. В работе представлена разработанная и сконструированная автором экспериментальная аппаратура наземного измерительного комплекса установки когерентного зондирования рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн для оценки параметра сигнал/шум. Предложен новый некогерентный метод оценки параметра сигнал/шум. Выполнен сравнительный анализ и показано, что по аналитической (относительной) точности определения этого параметра новый метод на порядок превосходит широко используемый стандартный.

Литература

1. Белов С.Ю. Изв. ВУЗ. Физика, ISSN 0021-3411. Т.59. №12-3. С.121–124. (2016).
2. Belov S.Yu., Belova I.N. Proc. SPIE. Vol.10466. DOI: 10.1117/12.2288609. P.104666V-1–104666V-9. (2017).
3. Belov S.Yu. Czech Polar Reports. ISSN:18050697. DOI: 10.5817/CPR2017-2-21. Vol.7(2): P.216-231. (2017).
4. Belov S.Yu. Geoinformatics research papers. eISSN: 2308-5983, DOI: 10.2205/2016BS08Sochi. Vol.4. No.2. BS4002. P.50. (2016).
5. Белов С.Ю. Программа регистрации квадратурных компонент n -кратного отражённого от земной поверхности радиосигнала. Свидетельство о регистрации права на программное обеспечение № RU.2016612172 от 19.02.2016 г.

ТЕХНОЛОГИЯ ГРАНУЛИРОВАНИЯ ПЛАВЛЕННОГО СВАРОЧНОГО ФЛЮСА ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ

**Белоусов К.И.¹, Наумов С.В.¹, Карташев М.Ф.¹,
Игнатов М.Н.¹**

¹Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614990, Пермский край, г.Пермь, Комсомольский проспект, д.29

конт. тел.: 89194787284, e-mail: kirillbelousov@mail.ru

Известно, что классическая технология изготовления плавленных сварочных флюсов является малоэффективной с точки зрения материальных и энергозатрат [1]. Требуется сложное оборудование: печи больших объемов, трансформаторы с высокой потребляемой мощностью, грануляционные бассейны, бункера отстойники и другое. Кроме того, классическая технология выполняется с большим количеством операций, что требует больших затрат труда.

В связи с этим целью работы является разработка технологии гранулирования плавленного сварочного флюса плазменной дугой, не требующей сложного оборудования с высокой потребляемой мощностью и больших материальных и трудозатрат.

В основу плазменного метода положено устройство квазистатической дуги между двумя электродами, которая с помощью вдуваемого потока газа «выносятся» в рассматриваемую среду. Поскольку температура дуги может достигать 20 000°C, то последняя позволяет осуществлять термоионизацию. Общий вид такой горелки можно представить в виде схемы (рис.1) [2].

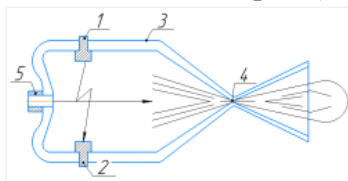


Рис.1. Схема плазменной горелки: 1,2 – электроды; 3 – камера из диэлектрического материала; 4 – сопло Лавала; 5 – вентиль ввода газа.

В ходе разработки технологии планируется опробовать три способа гранулирования плавленного флюса плазменной дугой: грану-

лирование шлаковой плитки в горизонтальном или в вертикальном положении и гранулирование порошкообразной шихты. Материал для гранулирования, а именно шлаковые плитки и шихта, состоят из минерального сырья, либо из материалов каменного литья. При этом естественные и искусственные каменные материалы имеют различные стойкость к тепловому удару, температуру перехода в расплавленное состояние и теплопроводность. Материалы, имеющие низкую сопротивляемость тепловому удару, после соприкосновения с пламенем дугового энергоносителя моментально растрескиваются, и в этот момент их поверхность подвергается разрушению. Опытным путем установлено, что устойчивость воздействию теплового удара пламени дуги шлаковых плиток каменного литья и стеклокристаллических плиток низка, что дает возможность обрабатывать их для образования гранул плавленного сварочного флюса плазматронами с малой потребляемой мощностью [2]. При обработке шлаковой плитки плазменной дугой, она разрушается и происходит процесс образования гранул сварочного флюса.

Пламя плазменной дуги направляется на обрабатываемую шихту либо шлаковую плитку и передает им тепловую энергию достаточную для перехода кристаллической фазы в стекло. Стеклообразная структура сварочного флюса является одной из самых распространенных и, используя флюсы с такой структурой, можно получать качественные сварные соединения.

Выводы. Установлено, что шихтовые материалы каменного литья могут быть обработаны плазменной дугой для получения гранул плавленного сварочного флюса. Также установлено, что шихтовые материалы могут быть использованы для этой цели в виде шлаковых плиток и использованы плазматроны малой мощности, например для резки. Разрабатываемая технология позволяет изготавливать плавленные сварочные флюсы требуемого качества с меньшими относительно классической технологии материальными и трудозатратами.

Литература

1. Люборец И.И. Сварочные флюсы, Техника, Киев, 1984.
2. Горайнов К.Э. Электрическая сварка и резка бетонных, керамических и каменных материалов. М.: Стройиздат, 1973. – 144с.

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ЛЕНГМЮРА–ШЕФФЕРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УПОРЯДОЧЕННЫХ БЕЛКОВЫХ ПЛЕНОК

Бойкова А.С.^{1,2}, Дьякова Ю.А.^{2,1}, Марченкова М.А.^{1,2}, Ильина К.Б.^{1,2}, Серегин А.Ю.^{1,2}, Просеков П.А.^{1,2}, Писаревский Ю.В.^{1,2}, Ковальчук М.В.^{2,1}

*¹Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника» РАН, Москва*

*²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва*

(499) 135-02-51, boikova_as@crys.ras.ru

Получение пленок белков, в том числе на твердых подложках, вызывает большой интерес как с точки зрения изучения механизмов их функционирования, так и разработки технологий создания новых гибридных систем. Однако использование белков вызывает некоторые трудности в их применении в качестве элементной базы гибридной системы, так как их функциональные свойства в значительной степени зависят от конформации белковой молекулы. Таким образом, основной задачей является поиск эффективного способа формирования белковой пленки на твердой подложке, позволяющего сохранить конформацию молекулы.

Одним из самых перспективных методов контролируемого получения органических пленок, в том числе белковых с сохранением конформации молекул, является ленгмюровская технология. Однако формирование ленгмюровских монослоев из молекул белка представляет из себя более сложную задачу по сравнению с получением монослоев из более простых амфифильных молекул.

В настоящей работе предложен новый подход на основе ленгмюровской технологии к получению белковых пленок на твердых подложках [1], который заключается в использовании вместо раствора белка раствора белка с осадителем, причем параметры используемого раствора (концентрации белка и осадителя, pH) соответствуют условиям кристаллизации белка.

Ранее было обнаружено, что в растворе белка лизоцима при добавлении осадителя хлорида натрия (NaCl) в условиях кристалли-

зации образуются олигомерные частицы лизоцима [2-3]. Предполагается, что эти частицы являются элементарными единицами роста будущего кристалла лизоцима. Было предположено, что эти олигомеры, образующиеся в растворе, будут оказывать непосредственное влияние на структуру белковой пленки.

Апробация предложенного подхода к получению белковых пленок была проведена на примере белка лизоцима и осадителя NaCl. В результате исследования полученных пленок методом рентгеновской рефлектометрии и стоячих рентгеновских волн в области полного внешнего отражения было установлено, что пленка, полученная из раствора с добавлением NaCl, имеет толщину, почти в два раза превышающую толщину пленки, полученную из раствора чистого белка. Также было показано, что электронная плотность пленки лизоцима с NaCl почти в 4 раза превосходит плотность пленки из чистого белка. Полученное значение толщины пленки соответствует диаметру олигомера лизоцима, состоящего из восьми молекул лизоцима. Также было установлено, что ионы Cl^- образуют тонкий слой вблизи пленки лизоцима на твердой подложке. Полученные в настоящей работе результаты могут быть полезны не только для получения белковых пленок, но и для выяснения особенностей взаимодействия осадителя с белками.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта 18-32-00381 мол_a

Литература

1. М.В. Ковальчук, А.С. Бойкова, Ю.А. Дьякова и др. Модификация метода Ленгмюра–Шеффера для получения упорядоченных белковых пленок. Кристаллография. Т. 62. № 4. С. 650-656 (2017).
2. A.S. Boikova, Y.A. Dyakova, K.B. Ilina et al. Octamer formation in lysozyme solutions at the initial crystallization stage detected by small-angle neutron scattering. Vol.73. P. 591-599 (2017).
3. А.С. Бойкова, Ю.А. Дьякова, К.Б. Ильина и др. Исследование влияния замены растворителя – H_2O на D_2O – на начальную стадию кристаллизации лизоцима тетрагональной сингонии методом малоуглового рентгеновского рассеяния. Кристаллография. Т. 62. № 6. С. 876-881 (2017).

ИЗОТОПИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ЦЕНТРАХ ОКРАСКИ АЛМАЗА ТИПА SiV И GeV

Болдырев К.Н., Маврин Б.Н.

*Институт спектроскопии РАН, Москва, Троицк
+7(926)5863756, kn.boldyrev@gmail.com*

Центры окраски в алмазе известны давно, именно они определяют цвет этого минерала. И если раньше бриллианты разных цветов интересовали людей, в первую очередь, с точки зрения их цены, то в последнее время окрашенные алмазы стали интересны в связи с обнаружением в них необычных оптических свойств.

Для выявления свойств, пригодных для практических применений таких центров, необходимо всесторонне понимать их природу. Один из методов получения важной информации – исследование параметров оптических переходов при изотопическом замещении. Ранее проведенные исследования показали, что при изотопическом замещении Si [1] или Ge [2], изотопических сдвиг мал по сравнению с таковым при замещении изотопа матрицы алмаза ^{12}C - ^{13}C [3]. В докладе будет представлено моделирование оптических спектров методом *ab initio* при различном изотопическом замещении как германия или кремния, так и углерода, и будут проведены сравнения с экспериментальными данными из работ [1-3]. Обсуждается причина разного изотопического сдвига для изотопов C и Si(Ge). Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-72-10293.

Литература

1. A. Dietrich, K.D. Jahnke, J.M. Binder, T. Teraji, J. Isoya, L.J. Rogers and F. Jelezko, New J. Phys. Vol.16. P.113019 (2014).
2. E.A. Ekimov, S.G. Lyapin, K.N. Boldyrev, M.V. Kondrin, R. Khmelnitskiy, V.A. Gavva, T.V. Kotereva and M.N. Popova, Письма в ЖЭТФ. №.102. С.811 (2015).
3. V. Sedov, K. Boldyrev, V. Krivobok, S. Nikolaev, A. Bolshakov, A. Khomich, A. Khomich, A. Krasilnikov and V. Ralchenko. Phys. Status Solidi A. Vol.00. P.1700198 (2017).

ПАРАДОКС РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ЦИЛИНДРОМ МАЛОГО РАДИУСА

Брынкин Я.А.¹, Трибельский М.И.^{1,2,3,4}

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

² НИЯУ МИФИ, Москва

³ ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, Черноголовка МО

⁴ RITS Yamaguchi University, Yamaguchi, Japan

+7(977)425-41-42, abrynkin@yandex.ru

Задача рассеяния света частицами важна как с академической точки зрения, так и для различных приложений в плазмонике и нанотехнологиях и др. [1]. Существует всего несколько точно решаемых случаев, описываемых формулами Ми [2] и ее различными обобщениями [3]. К числу таких точно решаемых задач относится рассеяние света круговым цилиндром. Рассмотрим нормальное падение в вакууме плоской линейно поляризованной монохроматической волны на такой цилиндр (волновой вектор волны перпендикулярен оси цилиндра, а вектор E колеблется в плоскости его основания – ТЕ поляризация). В этом случае сечение рассеяния определяется как

$$\sigma_{sca} = 2\pi RLQ_{sca}, \quad L \ll R, \quad Q_{sca} = \frac{2}{q} \sum_{l=-\infty}^{\infty} |a_l|^2. \quad (1)$$

Здесь L является высотой цилиндра, R его радиус, $q = R\omega/c$, c – скорость света в вакууме. Величины a_l называются электрическими коэффициентами рассеяния. Эти коэффициенты имеют вид:

$$a_l = \frac{F_l(\varepsilon, q)}{F_l(\varepsilon, q) + iG_l(\varepsilon, q)}, \quad (2)$$

где F и G сложным образом зависят от параметра q , диэлектрической проницаемости ε и мультиполярности соответствующей моды

l [3]. Резонансное рассеяние определяется условием $G_l(\varepsilon, q) = 1$. Видно, что в этом случае $a_l = 1$.

С другой стороны, хорошо известно, что при $q \rightarrow 0$ все резонансные кривые для $|I| \geq 1$ сходятся в точке $\varepsilon = -1$. Это, казалось бы, приводит к парадоксальному выводу о расходимости ряда (1) при резонансном рассеянии света цилиндром исчезающе малого радиуса.

В действительности, однако, ситуация еще сложнее. Можно показать что в точке $q = 0$, $\varepsilon = -1$ выражение (2) имеет неопределенность типа $0/0$. Раскрытие неопределённости показывает, что a_l вообще не имеет предела в этой точке – значение a_l при $q = 0$, $\varepsilon = -1$ зависит от того, по какой траектории на плоскости (q, ε) мы к этой точке приближаемся.

Правильный выбор траектории соответствует тому, что в реальном эксперименте при изучении рассеяния света объектом изучается частотная зависимость сечения рассеяния, в то время как геометрический размер объекта остается неизменным. Поэтому в рассматриваемой задаче удобно от переменных (q, ε) перейти к переменным (R, ω) . При этом «правильная» траектория соответствует случаю $R = \text{const}$.

Кроме того, надо учесть, что как падающее излучение, так и линии резонансного поглощения имеют конечную ширину: $\Delta\omega$ и Γ_l , соответственно. Расчеты, сделанные с учетом всех этих факторов показывают, что при $R \rightarrow 0$ ширины резонансных линий стремятся к нулю достаточно быстро для того чтобы при любом, сколь угодно малом, но конечном $\Delta\omega$ сечение рассеяния обнулялось при $R = 0$, что разрешает отмеченный выше парадокс.

Литература

1. W.L. Barnes, A. Dereux, and T.W. Ebbesen. Surface plasmon subwavelength optics. Nature Vol. 424 P. 824–829 (2003).
2. G. Mie. Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. Ann. Phys. Vol. 25, P. 377–445 (1908).
3. M. Kerker. The Scattering of Light and Other Electromagnetic Radiation. (Elsevier Science. 2013).

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ЛАЗЕР НА КРАСИТЕЛЯХ С КВАЗИПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Бурдукова О.А.^{1,2}, Петухов^{1,2}, Семёнов М.А.²

¹ *Московский физико-технический институт (ГУ), Москва*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
+79672837592, burdukova_olga@mail.ru*

Мощность современных лазерных диодов (ЛД) видимого диапазона позволяет использовать их в качестве компактной и недорогой накачки в перестраиваемых лазерах на красителях (ЛК). Главной проблемой при этом является нехватка плотности мощности накачки. Насколько нам известно, перестройка в ЛК с накачкой ЛД была получена только в двух работах: в [1] с КПД порядка 2 %, а в [2] только на одном красителе. Недавно мы впервые продемонстрировали перестройку излучения в широком диапазоне длин волн: от 500 до 700 нм [3], используя поперечную накачку голубыми ЛД. Однако, продольные схемы накачки представляют особый интерес.

Целью данной работы являлось получение перестройки излучения ЛК в квазипродольной схеме накачки зелеными диодами. Самые мощные ЛД видимого диапазона - голубые диоды (445 нм), но т.к. наиболее эффективные красители (родамины и пиррометены) почти не поглощают на этой длине волны, в качестве накачки мы выбрали два диода фирмы Nichia NDG7475 (520 нм, 1 Вт).

Мы использовали трехзеркальную схему резонатора с фильтром Лио в качестве селективного элемента (Рис.1) при импульсной накачке ($\tau_{\text{имп}} \approx 200$ нс, $\nu_{\text{след}} \approx 2$ Гц). После коллимации выходные пучки ЛД сводились вместе поляризационным светоделителем. Из-за существенной анизотропии мощных многомодовых ЛД, пучок расширялся цилиндрическим телескопом и затем фокусировался линзой ($f = 50$ мм) на кювету с красителем в пятно 20×40 мкм.

Зависимости энергии генерации от длины волны представлены на Рис.2. Используя четыре наиболее эффективных красителя, мы осуществили перестройку в диапазоне длин волн от 537 нм до 608 нм. Для родаминов КПД в максимуме кривой перестройки превышает 12 %, а для пиррометена 567 – 16 %.

В данной работе показано, что мощные зеленые полупроводниковые лазеры не только пригодны для квазипродольной накачки перестраиваемых лазеров на красителях, но и позволяют достигать хорошей эффективности.

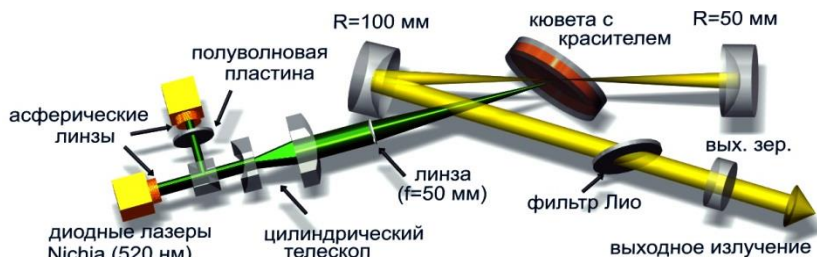


Рис.1. Схема перестраиваемого ЛК с квазипродольной накачкой диодами

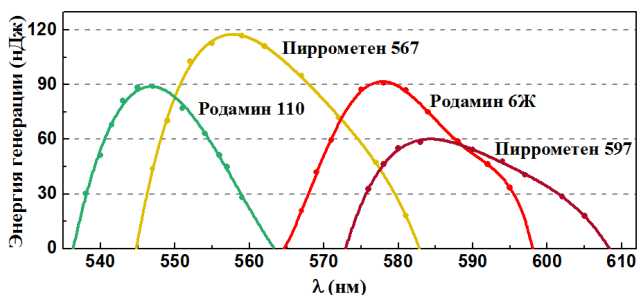


Рис.2. Кривые перестройки ЛК при энергии накачки 720 нДж

Литература

1. S. Klinkhammer, et. al. Continuously tunable solution-processed organic semiconductor DFB lasers pumped by laser diode. Opt. Express. Vol.20. P.6357-6364 (2012).
2. D. Stefanska, M. Suski, B. Furmann. Tunable continuous wave single-mode dye laser directly pumped by a diode laser. Laser Phys. Lett. Vol.14. P.045701 (2017).
3. O. Burdukova, M. Gorbunkov, V. Petukhov, M. Semenov. Diode pumped tunable dye laser. Applied Physics B. Vol.123. P.84 (2017).

РАЗРАБОТКА АПОДИЗАТОРА ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СУПЕРГАУССОВА ПУЧКА В ФЕМТО- СЕКУНДНОЙ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЕ

Бутаев М.Р.¹, Михеев Л.Д.^{1,2}, Ставровский Д.Б.², Москалев Т.Ю.²

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

²*Физический институт имени П.Н. Лебедева «ФИАН», Москва
e-mail: mbutayev@mail.ru*

Под фемтосекундной гибридной системой подразумевается система, в которой фемтосекундные импульсы генерируются в твердотельном стартовом комплексе, а усиливаются в конечном усилителе с газовой активной средой. В настоящее время в таких системах видимого диапазона используются пучки с гауссовым распределением интенсивности по сечению пучка. Однако с точки зрения эффективности съема энергии в конечном каскаде усиления и негативного влияния дифракции на краях апертур транспортной оптики на качество лазерного излучения более перспективным является использование супергауссовых пучков, характеризующихся более однородным пространственным распределением интенсивности. Основная проблема, требующая решения при их формировании в гибридных системах видимого диапазона, состоит в дифракционной устойчивости супергауссовых пучков, поскольку вследствие низкого значения коэффициента усиления малого сигнала ($\sim 2 \times 10^{-3} \text{ см}^{-1}$) в XeF(C-A)-усилителе длина усиливающей трассы в многопроходной схеме усилителя достигает значительной величины в 30-50 м. При такой длине трассы становятся важными дифракционные искажения пучка, в сильной степени зависящие от профиля гауссова пучка на входе в усилитель. Поэтому задача формирования супергауссовых пучков, устойчивых при малых (менее 10) значениях числа Френеля, является актуальной и требует проведения теоретических и экспериментальных исследований дифракционных искажений на больших трассах распространения лазерного пучка. Эти данные необходимы для разработки аподизатора лазерного пучка с оптимальными характеристиками.

Целью данной работы была разработка аподизатора лазерного пучка на основе зубчатой диафрагмы и пространственного фильтра для формирования супергауссовых лазерных пучков, распространяющихся на расстояния, эквивалентные суммарной длине (~40 м) усиливающей трассы в многопроходной схеме XeF(C-A)-усилителя. Для изучения свойств аподизатора мы использовали непрерывное излучение He-Ne лазера. Аподизатор позволяет формировать супергауссовый пучок, но на больших расстояниях пучок испытывал дифракционные искажения. На рис. 1 представлены профили супергауссова пучка на выходе (~25 см) аподизатора и после прохождения трассы длиной 42 м.

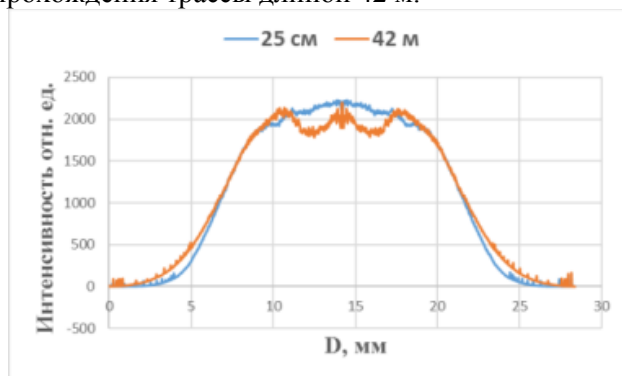


Рис.1 Профиль супергауссова пучка на выходе (~25 см) аподизатора и после прохождения трассы длиной 42 м

Видно, что при распространении пучка возникают дифракционные искажения его профиля. Для решения этой проблемы было предложено дополнить зубчатую диафрагму корректирующим элементом в виде тонкого кольца, установленного вблизи зубчатой диафрагмы [1]. На рис. 2 представлено сравнение профилей супергауссова пучка после прохождения трассы длиной 42 м без корректирующего элемента в аподизаторе и с корректирующим элементом.

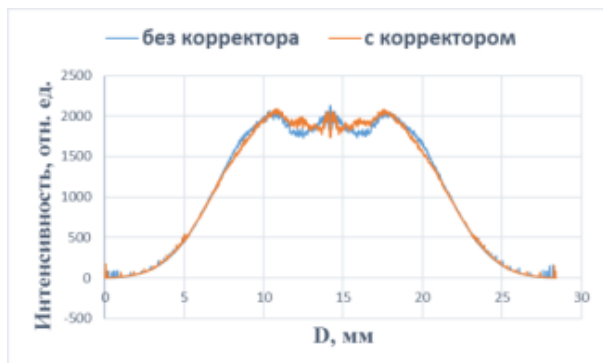


Рис.2 Сравнение профилей супергауссова пучка после прохождения трассы длиной 42 м без корректирующего элемента в аподизаторе и с корректирующим элементом

Из рис.2 видно, что использование корректирующего элемента приводит к уменьшению глубины модуляции, вызванной дифракционными искажениями пучка. Глубина модуляции на расстоянии 42 м уменьшается с 11% до 7%.

Литература

[1] Л.Д. Михеев, Т.Ю. Москалев. «Аподизатор лазерного пучка». Патент РФ № 2587694. Бюллетень «Изобретения. Полезные модели», 2016, № 23.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ДОПИРОВАННЫХ В КИСЛОТНОЙ СРЕДЕ

Великанов В.А.^{1,2}, Еремин Т. В.², Образцова Е.Д.²

¹ НИЯУ МИФИ, г. Москва.

² ИОФ РАН, г. Москва.

89106057598, velikanov-v@bk.ru

Одностенные углеродные нанотрубки обладают уникальными оптическими и электронными свойствами [1]. В настоящее время нанотрубки занимают широкую сферу применения. Они используются в производстве конденсаторов, датчиков, анодов, покрытий, батареек и т.д. Нанотрубки обладают очень высокой прочностью, что возможно будет использовано в будущем для создания сверхпрочных соединений. Одностенные углеродные нанотрубки являются универсальной проводящей добавкой. Низкие концентрации в общей массе материала – от 0,01% – придают электропроводность и улучшают физико-механические свойства пластиков, эластомеров, композитов и покрытий без негативного воздействия на цвет, реологические и иные характеристики.

Одна из самых видных особенностей углеродных нанотрубок это сильная корреляция между переносчиками заряда из-за квантового ограничения, которое возникает в одномерных (1D) структурах приблизительно 1 нм диаметром. Отталкивающее электрон-электронное и притягивающее электрон-дырочное взаимодействия играют важные роли в электронных и оптических свойствах и приводят к возникновению экситонов с существенной энергией связи[2]. Экситон является квазичастицей, представляющей из себя связанное состояние электрона и дырки.

При допировании нанотрубок могут возникать трионы [3]. Трион - это квазичастица, представляющая собой тройку связанных кулоновскими силами электронов и дырок. Соответственно может состоять либо из двух дырок и одного электрона (положительный трион), либо двух электронов и одной дырки (отрицательный трион). Они возникают в результате того, что при допирова-

нии образуется избыток электронов или дырок, которые впоследствии связываются с экситонами.

Возникновение трионов при допировании нанотрубок может привести к значительным изменениям их свойств. В данной работе приведено исследование изменения спектров фотолюминесценции, комбинационного рассеяния и оптического поглощения при допировании нанотрубок кислотой HCl. В результате исследования было выявлено, что необходимо выдерживать определенный временной интервал между допированием и измерением, и наблюдался рост трионного пика с увеличением уровня допирования.

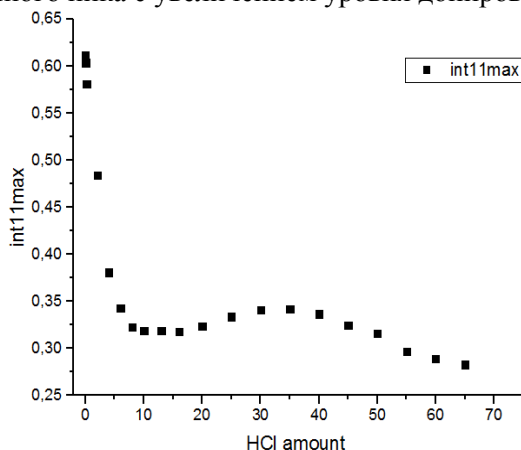


Рис.1 Зависимость максимума первого экситонного перехода от количества добавленной кислоты HCl

Литература

1. Saito, R.; Dresselhaus, G.; Dresselhaus, M. S. Physical Properties of Carbon Nanotubes; Imperial College Press: London, 1998.
2. T. Ando, J. Phys. Excitons in carbon nanotubes Soc. Jpn. 66, 1066 (1997).
3. Shinichiro Mouri, Yuhei Miyauchi, Munechiyo Iwamura and Kazunari Matsuda, Temperature dependence of photoluminescence spectra in hole-doped single-walled carbon nanotubes: Implications of trion localization, Japan, 2013

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКИХ И НЕОДНОРОДНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ЦИРКУЛЯРНЫХ ОПТИЧЕ- СКИХ ВОЛОКНАХ

Викулин Д.В., Яворский М.А.

*Физико-технический институт Крымского федерального университета
им. В.И. Вернадского, Симферополь
+7(978) 024-22-59, vikulindmitriy@mail.ru*

Известно, что оптические волокна способны направлять как оптические, так и акустические волны. Естественно, что значительные усилия направлены на исследование акустооптического взаимодействия (АОВ) в различных типах оптических волокон. Как результат, предложено и реализовано значительное число устройств, основанных на АОВ, таких как волоконные ответвители, модуляторы интенсивности, преобразователи частоты и т.д.

Необходимо отметить, что работы по волоконной акустооптике преимущественно имеют дело с взаимодействием изгибной *фундаментальной* акустической волны с оптическими модами. В то же время, совсем недавно удалось возбудить в волокне *акустические вихри* различных топологических зарядов и поляризаций [1]. В работе [2] впервые экспериментально продемонстрирован процесс взаимодействия акустических и оптических вихрей в волокне. Экспериментально продемонстрирована передача орбитального углового момента акустического вихря циркулярно-поляризованной фундаментальной моде с образованием оптического вихря. Особым случаем акустических вихрей является так называемый неоднородный вихревой пучок с полным угловым моментом (спиновый+орбитальный) равным нулю. На сколько нам известно, в настоящее время отсутствуют как теоретические, так и экспериментальные работы по исследованию влияния неоднородных вихрей на распространения оптических мод в волокна. При этом крайне актуальным является вопрос о поведении спинового и орбитального углового моментов в процессе фотон-фононного рассеяния в данном случае.

Таким образом, целью данной работы является исследование взаимодействия *неоднородных акустических вихрей*, переносящих нулевой полный угловой момент, с оптическими модами различных порядков.



Рис. 1. Схематическое представление предсказываемой модовой конверсии. Здесь

$|\sigma_a, \ell_a\rangle_a$ - акустический вихрь с направлением поляризации σ_a и топологическим зарядом ℓ_a , $|m, \sigma, \ell\rangle$ - оптический вихрь с частотным числом m , поляризационным числом σ и топологическим зарядом ℓ соответственно

Теоретическая значимость работы заключается в том, что впервые получены гибридные моды циркулярного волокна и впервые изучен вопрос о поведении спинового и орбитального углового моментов в рассматриваемой системе.

Практическая значимость работы состоит в том, что предсказана возможность генерации оптического вихря непосредственно из падающей на волокно фундаментальной моды с высокой степенью эффективности. При этом знак циркулярной поляризации и топологический заряд полученного вихря определяется поляризацией и зарядом акустического вихря. Полученные результаты предсказывают возможность создания новых устройств для динамического управления распространением оптических вихрей в волокне, что, в частности, может найти свое применение в информационных технологиях на ОАМ-мультиплексировании.

Литература

1. Marchiano R. Synthesis and analysis of linear and nonlinear acoustical vortices / R. Marchiano, J.- L. Thomas // Physical review - 2005. - V.71. - P. 066616-1 - 066616 - 11.
2. Dashti P. Z. Observation of orbital angular momentum transfer between acoustic and optical vortices in optical fibers / P. Z. Dashti, F. Alhassen, H. P. Lee // Physical review letters. - 2006. - V.96. - P.043604-1 - 043604-4.

СТЕНД ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ

Волков Н.С., Задеба Е.А., Ампилогов Н.В.

НИЯУ МИФИ, Москва

8-915-226-40-18, nikolai.volckow@mail.ru

Наряду с фотоэлектронными умножителями в приборах, требующих регистрации и измерения интенсивности малых световых сигналов, используются кремниевые фотоумножители, позволяющие детектировать световое излучение вплоть до счета единичных фотонов. SiPM (Silicon PhotoMultiplier) применяются в детекторах с оптоволоконным светосбором и дискретным рабочим объемом светосбора – например, в трековых детекторах.

На рисунке 1 приведено схематичное изображение SiPM. Он представляет из себя упорядоченную систему лавинных фотодиодов, выполненных на общей кремниевой подложке, с которой и снимается суммарный сигнал со всех ячеек (подробнее см. [1]).

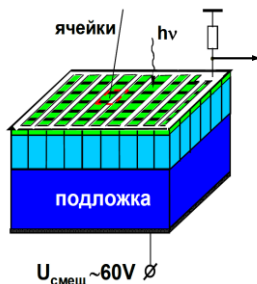


Рис. 1. Эскиз структуры SiPM.

Цель данной работы заключается в создании автоматизированного стенда для тестирования кремниевых фотоумножителей, использующихся в сцинтилляционных детекторах, создаваемых в НОЦ НЕВОД, НИЯУ МИФИ [2]. Количество измерительных каналов в таких установках велико, поэтому для тестирования большого количества SiPM необходим автоматизированный стенд, кото-

рый будет оперативно снимать их основные характеристики и формировать паспорта.

На рисунке 2 приведена общая схема комплектации стенда. Реализовано 3 варианта, различающихся типом измерительного прибора:

1. Пересчетное устройство Tektronix FCA 3103.
2. Осциллограф Tektronix MDO 3032.
3. Цифровой мультиметр Tektronix DMM 4040.

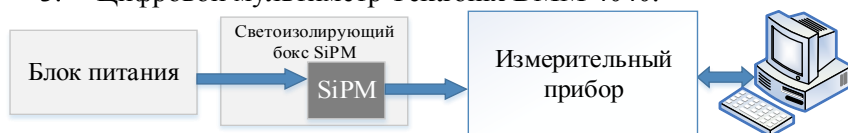


Рис. 2. Общая схема комплектации стенда

Для перечисленных комплектаций в среде графического программирования LabVIEW были реализованы алгоритмы автоматического построения шумовых характеристик и амплитудных и зарядовых спектров сигналов с SiPM. Кроме того, была отработана методика непрямого измерения вольт-амперных характеристик кремниевых фотоумножителей.

Литература

1. Сайт НИИЯФ МГУ: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>;
2. Геращенко С.И. пояснительная записка к ВКР – Создание прототипа базового модуля СцМГ на основе SiPM // Рук. Ампилов Н.В., каф. 7, НОЦ НЕВОД, НИЯУ МИФИ, 2015.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ОДНОЧАСТОТНЫЙ ПЕРЕ- СТРАИВАЕМЫЙ ЛАЗЕР

Воронченко С.А., Медведев С.В.

*ЗАО "НОЛАТЕХ", Москва
+7(916)3169905, crusader907@yandex.ru*

Представлены результаты работ по созданию одночастотных перестраиваемых по длине волны полупроводниковых (п/п) лазеров с внешним резонатором на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР), сформированных в одномодовом волоконном световоде. Рассмотрены способы дискретной и плавной перестройки длины волны излучения. Представленные лазеры способны генерировать динамически стабильное излучение с узкой шириной линии (менее 100 кГц) в диапазоне 635-1650 нм.

Излучение полупроводниковых (п/п) инжекционных лазеров имеет несколько продольных мод и достаточно большую ширину спектра (1–3 нм). Для многих практических лазерных применений важен одночастотный режим генерации. Возможность выделения одной частоты и ее перестройка позволили одночастотным полупроводниковым лазерам найти применение в таких областях как спектроскопии высокого разрешения, экологическом зондировании атмосферы, в измерительной интерферометрии, стандартах частоты, волоконно-оптических линиях связи и датчиках, аппаратуре медицинского диагностирования и т.д. На первом этапе создания п/п перестраиваемых лазеров использовались лазерные диоды (ЛД) с коротким резонатором (100–200 мкм). Учитывая, что межмодовый интервал для таких излучателей велик, разница в усилении соседних мод достигает значительной величины. В результате спектр излучения лазеров с коротким резонатором имеет одну продольную моду. Перестройка длины волны этих лазеров осуществлялась изменением температуры и тока накачки. Недостатки таких лазеров: малое значение выходной мощности, большое омическое и тепловое сопротивление, которые приводят к нестабильности в работе [1].

Более широкое распространение получили лазеры с распределенной обратной связью (РОС). Данный класс лазеров имеет более стабильный одночастотный режим работы и достаточно большую оптическую мощность излучения в широком диапазоне температур [2]. Однако многие инженерные и научные применения одночастотных лазеров требуют значительно более высоких значений мощности и стабильности ширины линии излучения. В таких случаях, применяются лазеры с внешним резонатором, в качестве которого используется дифракционная решетка. Основными элементами конструкции подобных излучателей являются лазерный кристалл, пьезокерамика и брэгговская решетка, сформированная в одномодовом световоде [2]. Задняя грань кристалла, формирующая резонатор, имеет отражающее покрытие с коэффициентом отражения до 90%, передняя грань – просветляющее покрытие с коэффициентом пропускания 0,01%. Коэффициент отражения решетки обычно составляет 10–20%, селективность решетки 01–10 нм. Для лучшего согласования лазерного кристалла с волоконным световодом на конце световода формируют микролинзу, увеличивающую эффективность стыковки до 80% [3]. Для плавной перестройки длины волны используется пьезокерамика, на которой закреплено волокно с брэгговской решёткой.

В работе продемонстрированы зависимости перестройки длины волны от температуры ЛД, тока накачки и растяжения пьезокерамики. Для этих целей был изготовлен лазер с выходной мощностью 20 мВт, $\lambda=1550$ нм., подавлением боковой моды >40 Дб. и шириной линии излучения < 100 кГц.

Литература

1. Дураев В., Неделин Е. и др. Полупроводниковые лазеры с волоконной брэгговской решеткой и узким спектром генерации на длинах волн 1530–1560 нм. – Квантовая Электроника, 2001, т. 31, №6.
2. Duraev V.P., A.V.Melnikov. Spectrochemica Acta. Part A, 52, 1996, p.877-879.
3. Дураев В., Медведев С. Одночастотные полупроводниковые лазеры на основе двухпроходных усилителей. — фотоника №6.54. 2015.

РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ КАРБИНОАЛМАЗНЫХ ФАЗ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ СУПЕРКУБАНА

Генералов А.И.¹, Беленков Е.А.¹

¹ Челябинский государственный университет, Челябинск
+7(922)705-74-70, generalov.ai@mail.ru

В отличие от обычных углеродных материалов, состоящих из углеродных атомов в состояниях с одинаковой гибридизацией электронных орбиталей, в состав гибридных углеродных материалов входят атомы углерода в разных гибридизированных состояниях. Такие материалы бывают 4 основных классов - $sp+sp^2$, $sp+sp^3$, sp^2+sp^3 , $sp+sp^2+sp^3$ [1-3]. Значительный практический интерес представляет изучение карбиноалмазных $sp+sp^3$ материалов, так как они могут найти широкое применение в качестве молекулярных сит и конструкционных материалов. В данной работе теоретически исследована структура двух $sp+sp^3$ углеродных фаз.

Исходная структура новых карбиноалмазных фаз была модельно построена на основе структуры алмазоподобной фазы CA1 (суперкубана). Межатомные связи в этой алмазоподобной структуре заменяли на фрагменты карбиновых цепочек длиной в два атома. Так как у каждого атома в структуре карбиноалмазных фаз имелось по четыре ковалентных связи, то возможными являются четыре способа замен, соответствующие четырем классам карбиноалмазных структур: α , β , γ и δ . Теоретический анализ показал, что таким способом возможно построение двух α -структур ($\alpha 1$ (CA1)- и $\alpha 2$ (CA2)-карбиноалмазов), двух β -структур, двух γ -структур и одной δ -структуры.

Модельно построенные структуры подвергали геометрической оптимизации на первом этапе молекулярно-механическим методом ММ+, а затем полуэмпирическим квантово-механическим методом РМЗ. Структуры для расчетов брали в виде кластеров, оборванные связи на поверхности которых были компенсированы атомами водорода. Число атомов углерода в кластерах варьировалось от 448 до 560, число атомов водорода от 160 до 170. На рисунке 1 приве-

дены изображения кластеров со структурой $\alpha 1(\text{CA1})$ -карбиноалмаза и со структурой $\beta 1(\text{CA1})$ -карбиноалмаза.

Фрагменты карбиновых цепочек некоторых карбиноалмазных структурах оказываются изогнутыми (рис.1b). Длины межатомных связей отличаются от значений характерных для графита и алмаза. Энергии сублимации карбиноалмазных фаз ниже, чем энергия сублимации алмаза, однако попадают в диапазон значений характерных для углеродных материалов устойчиво существующих при нормальных условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

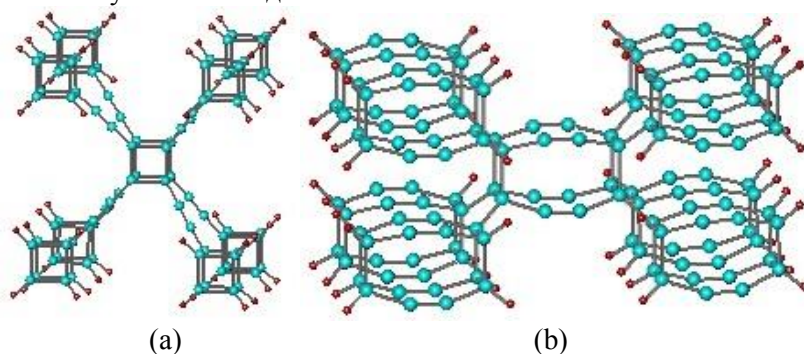


Рис.1. Геометрически оптимизированная структура кластеров со структурой: (a) $\alpha 1(\text{CA1})$ -карбиноалмаза; (b) $\beta 1(\text{CA1})$ -карбиноалмаза.

Литература

1. Е.А. Беленков, В.А. Грешняков, В.В. Мавринский. Структура $sp+sp^3$ гибридных углеродных фаз. Вестник Челябинского государственного университета. №25(163). С. 22-33 (2009).
2. E.A. Belenkov, V.V. Mavrinskii, T.E. Belenkova, V.M. Chernov. Structural modifications of graphyne layers consisting of carbon atoms in the sp and sp^2 hybridized states. Journal of Experimental and Theoretical Physics. Vol. 120. No. 5. pp. 820–830 (2015).
3. Е.А. Беленков, А.Л. Ивановский, С.Н. Ульянов, Ф.К. Шабиев. Новые каркасные наноструктуры из атомов углерода в состояниях sp^2 и sp^3 гибридизации. Журнал структурной химии Т.46. №6. С.1001-1007 (2005).

ОРГАНИЧЕСКИЕ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ НОВОГО КЛАССА МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ Eu (III)

Горячий Д.О.¹, Коршунов В.М.², Ващенко А.А.^{1,2}, Амброзевич С.А.², Тайдаков И.В.^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (ГУ), г. Долгопрудный

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия

конт. тел. +7(926)78-26-269, E-mail: goryachii@phystech.edu

Имеющиеся на сегодняшний день органические светоизлучающие диоды (ОСИД) изготовленные на основе комплексов Ir обладают высокой квантовой эффективностью люминесценции, но при этом являются исключительно дорогими в производстве. Поэтому актуальной задачей является разработка новых материалов, обладающих такими же высокими люминесцентными характеристиками и имеющими низкую себестоимость изготовления. Потенциальной альтернативой комплексов Ir являются координационные соединения редкоземельных элементов с лигандами из класса β-дикетонатов.

Целью настоящей работы было изготовление ряда прототипов ОСИД (со структурой ITO/PEDOT:PSS/a-NPD/CBP:Eu(L)/TPBi/LiF/Al) со светоизлучающими слоями на основе четырех новых комплексов иона Eu (III) с различными основными лигандами L, отличающимися степенью фторированности (см рис. 1). Спектры электролюминесценции всех диодов на основе отобранных из комплексов содержат полосы, соответствующие излучательным переходам в ионе Eu (III) (см рис. 2). Кроме этого наблюдается широкая полоса в коротковолновой области спектров. На основе сопоставленных спектров фотолюминесценции комплексов, сделан вывод, что она отвечает люминесценции лигандов. При этом яркость излучения достигала 70 Кд/м².

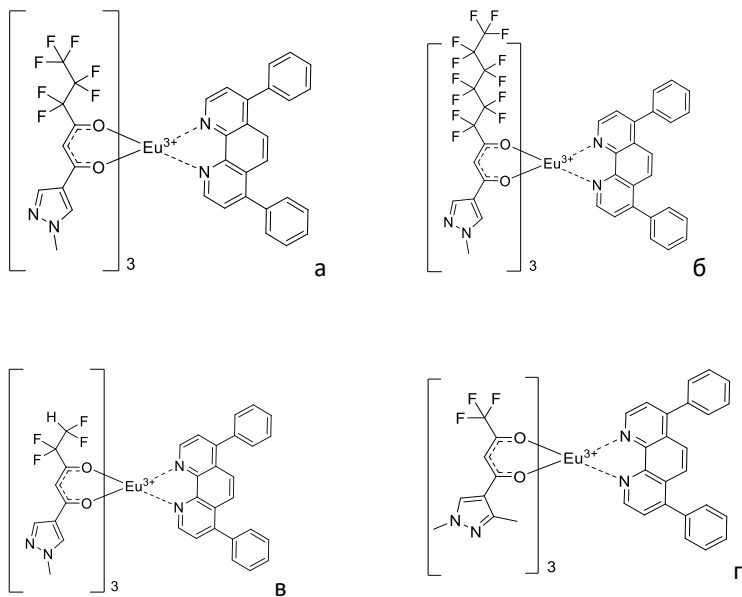


Рис.1: Новые комплексы Eu, используемые в прототипах ОСИД

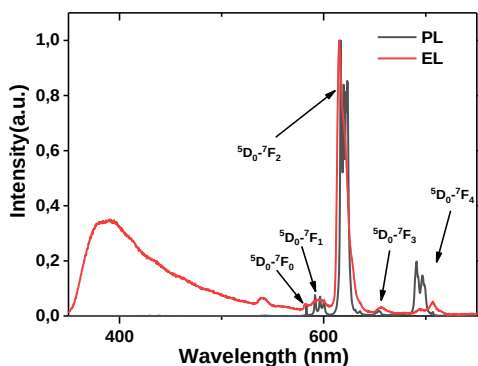


Рис.2: Спектр фотолуминесценции комплекса Eu(III)(а) (PL) и спектр электролюминесценции (EL) светодиода на основе этого комплекса.

Синтетическая часть работы поддержана грантом РФФИ №17-72-20088. Изготовление светодиодов было проведено при поддержке грантов РФФИ № 18-02-00653 и № 16-02-00594.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ МАГНЕТРОННОМ НАПЫЛЕНИИ МЕТАЛЛОВ НА ПРОВОДЯЩИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОДЛОЖКИ

Горячко А.И.¹, Бузько В.Ю.^{1,2}, Бойченко А.П.¹

¹ Кубанский Государственный Университет, Краснодар

*² Лаборатория молекулярного моделирования химических процессов и соединений ЗАО РМЦ “Югтехинформ”, Краснодар
8-918-480-88-58, Alexandr_g_i@mail.ru*

Тонкие пленки ферромагнитных и сплавов на неорганических подложках, тканях, гибких полимерных материалах являются эффективными радиоэкранирующими материалами.

При магнетронно-плазменном напылении пленок магнитных металлов и сплавов на различные керамические и полимерные подложки нами обнаружено, что магнитные свойства таких пленок сильно зависят от материала подложки. Также было обнаружено, что средний размер нанокристаллитов и шероховатость пленок одного и того же магнитного металла/сплава на разных подложках заметно отличается. Нами было предположено, что это явление связано с процессами плазменного травления поверхности подложек при начальном этапе цикла магнетронно-плазменном напылении пленок магнитных металлов и сплавов.

При магнетронно-плазменном напылении пленок магнитных металлов и сплавов на проводящие и не проводящие материалы, нами было замечено, что аргоновая плазма имеет различную интенсивность свечения. В связи с этим были исследованы с помощью микроволоконного спектрометра оптические свойства аргоновой плазмы в объеме вакуумной камеры при напылении магнитного материала без подложки, а также с поверхности образца при использовании стеклоткани и углеткани в качестве подложек. На рисунке 1 представлены значения интенсивности свечения пика максимальной интенсивности оптического излучения в радиочастотно-возбужденной аргоновой плазме, который приходится на длину волны 811 нм, для всех трех образцов.

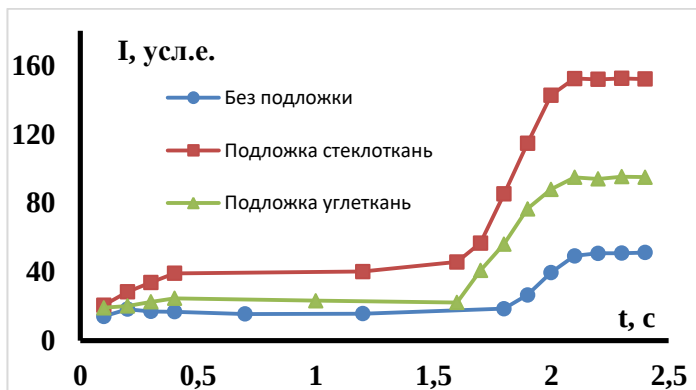


Рис. 1. Интенсивность основного пика оптического излучения аргонной плазмы при длине волны 811 нм

Значения интенсивности основного пика оптического излучения радиочастотно-возбужденной аргонной плазмы на поверхности образца, в процессе напыления металла, можно разделить на 4 этапа:

- 1) 0-400 мс. – начальный процесс формирования возбужденных атомов и ионов аргона;
- 2) 400-1700 мс. – равновесное состояние между нейтральными атомами аргона с их возбужденными атомами и ионами;
- 3) 1700-2100 мс. – область нарушения равновесия описанного в пункте 2 за счет травления поверхности образца;
- 4) 2100 мс и т.д. – выход на плато за счет преобладания процесса напыления металла на поверхность образца над плазменным травлением его поверхности.

Полученные данные позволяют сделать вывод о большей концентрации плазмообразующих частиц при напылении магнитного материала на стеклоткань. Можно предположить, что максимальная интенсивность свечения плазмы для стеклоткани, определяется формированием диффузного слоя из электрически заряженных и возбужденных частиц на поверхности «диэлектрик-плазма», что не наблюдается для высококопроводящей подложки из углеволокна.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МИКРОСТРУКТУРЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕДИ

Горячко А.И.¹, Бузько В.Ю.^{1,2}, Бублик В.А., Евсигнеев В.В.,
Барышев М.Г.

¹ Кубанский Государственный Университет, Краснодар

² Лаборатория молекулярного моделирования химических процессов и соединений ЗАО РМЦ "Югтехинформ", Краснодар
8-918-480-88-58, Alexandr_g_i@mail.ru

В настоящее время, тонкие пленки меди благодаря своим высоким значениям тепловой и электрической проводимости находят различные применения в области микроэлектроники. По значениям электропроводности, медь высокой чистоты, уступает только серебру, но низкая стоимость и доступность позволяют использовать ее в качестве тонкопленочных контактных соединений. Одним из недостатков в наноразмерных контактах является окисление – этот эффект особенно заметен для низких величин напряжений и токов.

В работе была рассмотрена применимость магнетронного метода с аргоновой плазмой для изготовления тонких пленок меди нанометровой и субмикронной толщины. Для исследования электрической проводимости тонких пленок меди (рисунок 1), была подготовлена серия образцов от 25 до 300 нм, в качестве подложек использовалось боросиликатное стекло толщиной 150 мкм.

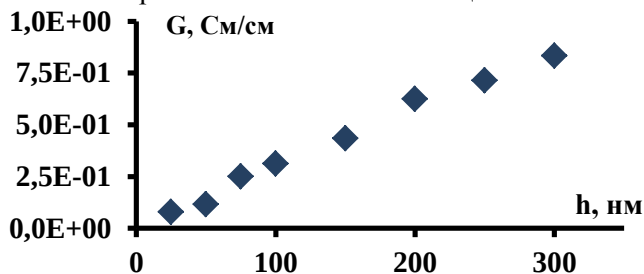


Рис.1. Проводимость тонких пленок меди, полученных методом магнетронного распыления на холодных подложках

Как и следовало ожидать, измеренные значения электропроводности наноразмерных пленок меди, показали сильную зависимость

от толщины нанесенного металла. Известно, что при малых толщинах пленок, их структура представляет собой нанокристаллиты, разделенные между собой промежутками, которые в свою очередь являются слабопроводящими и существенно влияют на значения поверхностного сопротивления образца. Для подтверждения данного вывода нами была исследована рельеф поверхности образцов (рисунок 2) с помощью зондового микроскопа JEOL JSPM-5400.

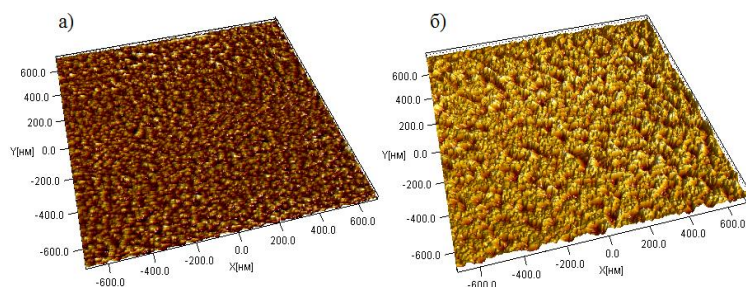


Рис.2. Поверхность тонких пленок меди, полученных с помощью зондового микроскопа: а) 25 нм, б) 300 нм

Из рисунка 2, а следует, что на поверхности пленки меди 25 нм, микроструктура рыхлая, наблюдаются отдельные кристаллиты размером около 30-40 нм. При увеличении толщины металла промежутки между кристаллитами сливаются, в следствии чего увеличивается размер кристаллитов, что отражает увеличение поверхностной проводимости пленки. Для тонкой пленки меди, толщиной 300 нм, рельеф является сплошным по всей поверхности и состоит из более крупных кристаллитов, средний размер которых равен около 100 нм.

На основании полученных данных можно сказать, что толщина, а также характер строения тонких пленок меди может влиять на электропроводящие свойства. Так же было установлено, что по мере увеличения толщины слоя меди, увеличивается размер ее нанокристаллитов на поверхности субстрата.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ТЕТРАГОНАЛЬНОГО ГРАФИТА В АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ФАЗЫ

Грешняков В.А.¹

¹ Челябинский государственный университет, Челябинск
+7(351)7997117, greshnyakov@csu.ru

Алмаз и алмазоподобные фазы привлекают большой интерес исследователей в силу своих уникальных физико-технических свойств. Получить эти фазы можно только в экстремальных условиях – при очень высоких давлениях и температурах, в процессе химического осаждения углерода из плазмы и т.д. Следовательно, необходимо найти пути синтеза алмазоподобных фаз при менее экстремальных условиях.

В данной работе при использовании метода теории функционала плотности в приближениях LDA и GGA выполнено моделирование процесса формирования алмазоподобных фаз из нового 2D-предшественника – тетрагонального графена L_{4-8} . Установлено, что ромбическая алмазоподобная фаза LA6 (рис.1а) может быть сформирована из графита L_{4-8} с упаковкой слоев AA при давлении 44 ГПа [1,2]. Другая ромбическая фаза, LA7 (рис.1б), может быть получена из графита L_{4-8} AB в интервале давлений от 43 до 46 ГПа [1,3]. Структура тетрагональной алмазоподобной фазы LA10 (рис.1в) может быть получена только из графита L_{4-8} с упаковкой слоев ABCD в диапазоне давлений от 32 до 40 ГПа [1]. Расчеты показали, что прямые структурные переходы « L_{4-8} AA $\rightarrow$ LA6», « L_{4-8} AB $\rightarrow$ LA7» и « L_{4-8} ABCD $\rightarrow$ LA10» представляют собой экзотермические фазовые переходы первого рода, сопровождающиеся выделением энергии 0.5, 0.5 и 0.3 эВ/атом, соответственно. Потенциальные барьеры, которые необходимо преодолеть для наблюдения обратных структурных преобразований «LA6 $\rightarrow$ L_{4-8} AA», «LA7 $\rightarrow$ L_{4-8} AB» и «LA10 $\rightarrow$ L_{4-8} ABCD», составляют 0.38, 0.34 и 0.18 эВ/атом (при использовании LDA) или 0.31, 0.28 и 0.13 эВ/атом (GGA), соответственно. В результате моделирования установлено, что наиболее вероятный способ синтеза исследованных

sp^3 -фаз – сильное статическое сжатие тетрагонального графита вдоль оси [001] при низких температурах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-33-00030 мол_а, а также при частичной финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

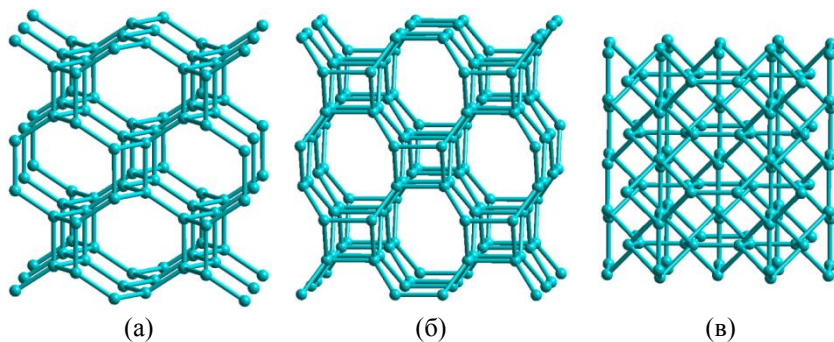


Рис.1. Фрагменты кристаллических структур алмазоподобных фаз LA6 (а), LA7 (б) и LA10 (в)

Литература

1. В.А. Грешняков, Е.А. Беленков. Моделирование процесса формирования алмазоподобных фаз из структурных разновидностей тетрагонального графита. Письма о материалах. Т. 7. №3. С. 318-322 (2017).
2. В.А. Грешняков, Е.А. Беленков. Моделирование фазового перехода графита L_{4-8} в орторомбическую алмазоподобную фазу Химическая физика и мезоскопия. Т. 19. №2. С. 182-188 (2017).
3. Е.А. Беленков, В.А. Грешняков. Теоретическое исследование фазового превращения тетрагонального графена L_{4-8} в полиморфную разновидность алмаза LA7. Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». Т. 9. №3. С. 51-57 (2017).

УПРУГИЕ СВОЙСТВА 1-ПРОПАНОЛА ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

Данилов И.В.^{1,2}, Громницкая Е.Л.¹, Ляпин А.Г.^{1,2},
Бражкин В.В.^{1,2}

¹Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН,
Троицк, Москва

²Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, МО
+79851777074 idanilov@hppi.troitsk.ru

1-пропанол является одноатомным спиртом с химической формулой C_3H_7OH . В нем присутствует 1 гидроксильная группа OH , способная организовать водородную связь с двумя соседними молекулами. Ранее было исследовано влияние водородных связей на упругие свойства двухатомных и трехатомных спиртов на примерах пропиленгликоля и глицерина [1]. Ультразвуковое исследование 1-пропанола позволит качественно сравнить зависимость упругих свойств спиртов на основе пропанового углеродного скелета от количества водородных связей на молекулу. 1-пропанол обладает высокими барическими производными скоростей ультразвука при комнатной температуре [2], а также аномальной сжимаемостью в жидкой фазе [3]. Так, наблюдается уменьшение объема пропанола при комнатной температуре на 30% при давлении до 1 ГПа (Рис. 1).

1-пропанол является глассформером, то есть при быстром охлаждении переходит в стеклообразное состояние, минуя кристаллизацию. Упругие свойства 1-пропанола исследованы в жидком состоянии (комнатная температура 295 К), в стеклообразном состоянии (77 К), а также при отопреве (77-295 К) при переходе стекложидкость. Сжимаемость стекла намного меньше, чем жидкости, а скорости ультразвука более чем в 2 раза выше в стеклообразной фазе (скорость продольной ультразвуковой волны 1,2 км/с при 295 К и 2,6 км/с при 77 К). При расстекловании происходит резкое падение как скоростей ультразвука, так и упругих модулей. Модуль сдвига G пропадает при переходе в невязкое жидкое состояние, а

модуль объемной упругости B уменьшается с 4,5 ГПа (77 К, стекло) до 1,5 ГПа (295 К, жидкость).

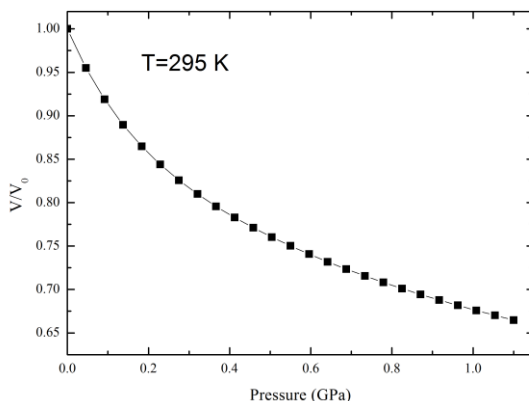


Рис. 1 Относительное изменение объема жидкого пропанола при комнатной температуре

Температура стеклования T_g растет с повышением давления отогрева.

Работа выполнена при поддержке РНФ (14-22-00093)

Литература

1. A. G. Lyapin, E. L. Gromnitskaya, I. V. Danilov, V. V. Brazhkin. Elastic properties of the hydrogen-bonded liquid and glassy glycerol under high pressure: comparison with propylene carbonate. Royal Society of Chemistry Advances. Vol. 53. P. 33278 (2017).
2. M. P. Hagelberg. Ultrasonic-Velocity Measurements and B/A for 1-Propanol at Pressures to 10 000 kg/cm². Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 47. P. 158 (1970).
3. I. M. Abdulagatov, J. T. Safarov, F. Sh. Aliyev, M. A. Talibov, A. N. Shahverdiyev, E. P. Hassel. Experimental densities and derived thermodynamic properties of liquid propan-1-ol at temperatures from 298 to 423 K and at pressures up to 40 MPa. Fluid Phase Equilibria. Vol. 268. P. 21 (2008).

ПЛАЗМЕННЫЙ СВЧ-УСИЛИТЕЛЬ ШУМОВ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

Диас Михайлова Д.Е., Иванов И.Е., Стрелков П.С., Шумейко Д.В.

*Институт общей физики им. А.Н.Прохорова, Москва
+7 (999) 667-45-19, tomasrulit@mail.ru*

Известны мощные источники сверхширокополосного излучения, основанные на преобразовании мощного высоковольтного электрического видеоимпульса в излучение, см., например, [1]. В этих устройствах характерная частота излучения определяется длительностью видеоимпульса и составляет, как правило, не более 1 ГГц. Увеличение частоты возможно только за счет уменьшения длительности видеоимпульса, что приводит к уменьшению энергии СВЧ-излучения. Обычно энергия СВЧ-импульсов таких источников с одной антенной не превышает 0.2 Дж.

В плазменном сверхширокополосном СВЧ-источнике средняя частота определяется плотностью плазмы и не связана с длительностью импульса. Поэтому увеличение длительности импульса тока РЭП приводит к увеличению энергии СВЧ-импульса. Кроме того, возможна быстрая перестройка средней частоты излучения, характерное время перестройки частоты 1 мс. Сверхширокополосный плазменный источник основан на усилении собственных шумов сильноточного релятивистского электронного пучка (500 кэВ, 2 кА, 500 нс) при инжекции его в плазму. Получены сверхширокополосные СВЧ импульсы

$$\frac{2\Delta f}{f_{\min} + f_{\max}} = 0.55 > 0.5.$$

Спектр одного из полученных СВЧ-сигналов представлен на рисунке 1.

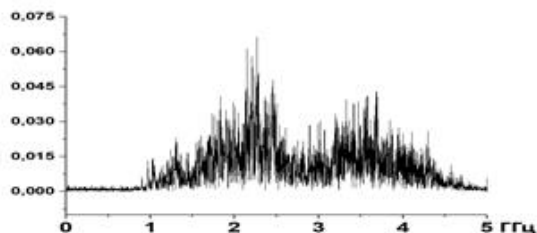


Рис. 1. Спектр СВЧ-импульса

Энергия СВЧ импульсов 6-9 Дж. Длительность СВЧ импульсов 200 – 300 нс. Средняя частота перестраивается от 1.7 до 4 ГГц при изменении плотности плазмы, см. рисунок 2.

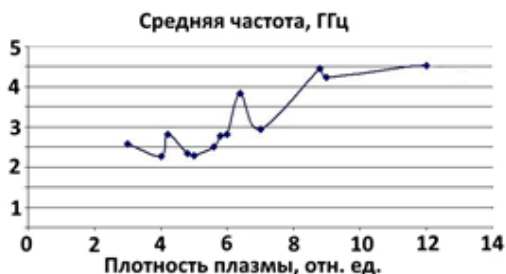


Рис.2. Зависимость средней частоты излучения от плотности плазмы.

Здесь средней частотой излучения мы называем частоту f_0 , при которой энергия СВЧ импульса на частотах менее f_0 равна энергии на частотах более f_0 .

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №16-08-00439.

Литература

1. В.П.Беличенко, Ю.И.Буянов, В.И.Кошелев. Сверхширокополосные импульсные радиосистемы. (Новосибирск: "Наука", 2015).
2. П.С.Стрелков, И.Е.Иванов, Д.В.Шумейко. Шумы плазменного релятивистского СВЧ-усилителя. Физика плазмы. Т.42. №7. С. 644-648 (2016).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ SnAs

Дмитриева К.А.^{1,3}, Безотосный П.И.¹, Вилков О.Ю.²,
Перваков К.С.¹, Рыбкин А.Г.²

¹ ФИАН им. П.Н. Лебедева, Москва

² НИЯУ «МИФИ», Москва

³ Ресурсный центр «Физические методы исследования поверхности»
Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета,
Петергоф

+ 7 (499) 132-67-67, kdmitrieva5@gmail.com

Бинарное соединение SnAs является актуальным объектом исследований ввиду наличия у него сверхпроводимости ($T_c = 3,58$ K), а также в связи с проявлением топологических свойств в его родственных материалах [1]. Необычные свойства материалов, как, например, сверхпроводящие и топологические, выражаются в особенностях электронной зонной структуры.

Ранее были проведены расчеты зонной структуры SnAs [2,3], однако их экспериментальное подтверждение получено совсем недавно методом фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением (ARPES) [4]. На рис.1 представлена дисперсия электронных состояний в соединении SnAs, измеренная в направлении К-Г-К. Анализ экспериментальных данных показывает качественное совпадение с расчетом, однако наблюдаются некоторые расхождения: расщепление одной из зон на три и отличие формы поверхности Ферми. Отличия экспериментальных и расчетных данных могут быть связаны с наличием спин-орбитального взаимодействия электронов или с переменной валентностью Sn в соединении, что не учтено в расчетах. Другая потенциальная причина расхождения расчетного и измеренного спектра - возможная реконструкция зонной структуры вблизи поверхности кристалла.

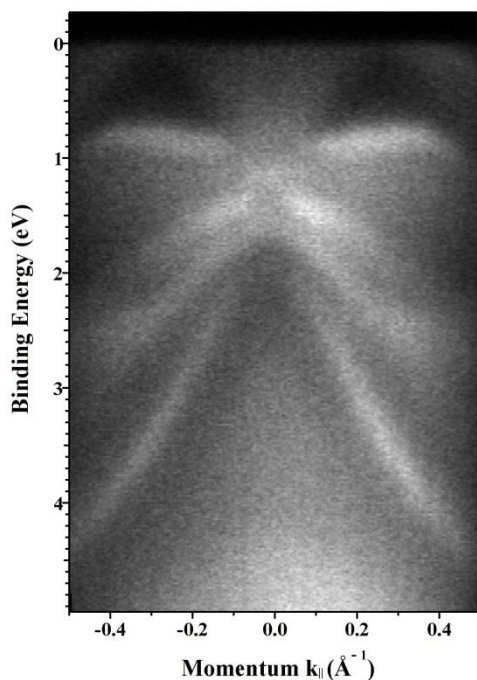


Рис.1. Дисперсия электронных состояний в кристалле SnAs, измеренная в направлении К-Г-К.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-42-01100). Измерения ARPES проводились в Ресурсном центре «Физические методы исследования поверхности» СПбГУ.

Литература

1. L.Y. Rong, J.Z. Ma et al., Scientific Reports 7, 6133 (2017).
2. P.V. Sreenivasa Reddy et al., Physica B 505, 33–40 (2017).
3. H.M. Tütüncü et al., Solid State Commun. 221, 24–27 (2015).
4. П.И. Безотосный, К.А. Дмитриева и др., Письма в ЖЭТФ 106, 8, 493-495 (2017).

**СИММЕТРИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПАРАМЕТРА ПО-
РЯДКА В МИНИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ВТСП НА ОСНОВЕ
ЖЕЛЕЗА:
ВАРИАЦИОННОЕ КЛАСТЕРНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ**

Жумагулов Я.В., Неверов В.Д., Лукьянов А.Е., Красавин А.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Москва*

тел. +7 915 1242332, e-mail: yaroslav.zhumagulov@gmail.com

Класс высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) на основе железа был открыт в 2008 году [1]. ВТСП на основе железа обладают квазидвумерной структурой, построенной на основе FeAs (FeSe) плоскостей, а также являются среднекоррелированными системами [2,3]. Хотя с момента открытия прошло более девяти лет, вопрос о симметрии сверхпроводящего параметра порядка для данного класса сверхпроводников до сих пор остается открытым [4]. В настоящее время существует огромный интерес научного сообщества, направленный на решение различных мультиорбитальных моделей ВТСП на основе железа. Большинство исследований, однако, ввиду различных факторов, ограничены учетом лишь локальных электронных корреляций, что лишь частично отображает физику данных систем. Для правильного воспроизведения поверхности Ферми и зонной структуры необходимо решить модель, учитывающую ближние корреляции [5]. Вариационное кластерное приближение (VCA), развитое в [6], позволяет точно учесть динамику корреляций и корректно описать фазовые переходы в системе с помощью нахождения стационарных точек функционала Поттхофа. В настоящей работе VCA используется для решения и получения фазовой диаграммы, а также выявления симметрии сверхпроводящего параметра порядка минимальной двухорбитальной модели с учетом ближних электронных корреляций (рис. 1).

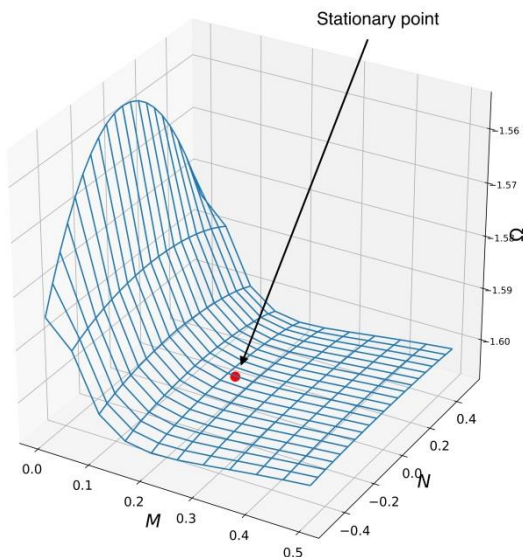


Рис. 1. Зависимость большого термодинамического потенциала от параметра антиферромагнитного упорядочения и поляризации орбиталей для двухорбитальной модели ВТСР на основе железа. Красным обозначена стационарная точка функционала Поттхофа, соответствующая наличию антиферромагнитного упорядочения и отсутствию поляризации орбиталей

Литература

- 1.Y. Kamihara et al., J. Am. Chem. Soc. 130, 3296 (2008).
- 2.Special issue of Physica C 468 (2009).
- 3.Special issue of New Journal of Physics 11 (2009).
- 4.E. Dagotto, Rev. Mod. Phys. 85, 849 (2013).
- 5.R. Fernandes, A. Chubukov, Rep. Prog. Phys. 80, 014503 (2017).
- 6.Potthoff M. et al., Phys. Rev. Lett. 91, 206402 (2003).

УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВО ВТОРУЮ ГАРМОНИКУ В НЕЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ

Земенков Л.И., Саакян А.Т., Стародуб А.Н.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
89999698828, zmaster-leo@yandex.ru*

В работе предложена упрощенная модель приближения нелинейного режима генерации [1] для расчета эффективности преобразования лазерного излучения во вторую гармонику. Исходная формула (ИФ) эффективности преобразования во вторую гармонику нелинейного режима генерации содержит эллиптический синус Якоби. Из-за наличия эллиптического синуса Якоби вычисления в разных математических пакетах или программах, предназначенных для математических расчетов, занимают неоправданно большое время.

В работе [1] также имеется упрощенный вариант ИФ (УВИФ), в котором эллиптический синус Якоби заменен на обычный, а затем разложен в ряд, из-за чего формула становится громоздкой и не очень удобной для расчетов. Следует отметить, что УВИФ является корректным при выполнении определенных граничных условий, зависящих от параметров лазерного излучения и характеристик нелинейного кристалла.

Исходя из граничных условий, а также особенностей параметров ИФ была предложена модель, которая не содержит эллиптический синус Якоби. Проведенные расчеты по всем моделям показали, что при наших параметрах лазерного излучения максимальное расхождение между ИФ и предложенной нами моделью составило не более 15%. Помимо этого, график эффективности преобразования по предложенной нами модели практически является аппроксимацией расчетов по УВИФ, в котором присутствуют высокоамплитудные модуляции, из-за наличия интегрального и обычного синусов в УВИФ.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (грант №16-02-00293).

Литература

1. Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. Прикладная нелинейная оптика. (М.: Физматлит) 2004.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧКИ ИНТЕРМОДУЛЯЦИИ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА РАДИОФОТОННОЙ ЛИНИИ X-ДИАПАЗОНА

Земцов Д.С., Злоказов Е.Ю., Небавский В.А., Осипов В.Г.,
Старииков Р.С., Хафизов И.Ж.

НИЯУ МИФИ, Москва
+79150695677, z.daniok@gmail.com

В работе приведены результаты экспериментов по определению точки интермодуляции третьего порядка на основе двухтонового теста [1] радиофотонной линии с внешней модуляцией. Проанализированы зависимости выходной мощности на основных частотах и частотах интермодуляции от суммарной мощности входного сигнала. Найдена точка пересечения интермодуляции третьего порядка. Оптические методы обработки сигналов получили большое развитие и предъявляют все большие требования к линеаризации [2, 3]. Одним из критериев точности работы является свободный динамический диапазон. Целью работы является характеристика нелинейных искажений радиофотонной линии. Для этого определялись точки выходной и входной интермодуляции третьего порядка. При этом нелинейные искажения третьего порядка оказываются много больше, чем нелинейные искажения второго порядка [3]. Основная частота варьировалась от 7 до 11 ГГц (отстройка по частоте составляла 10 МГц). В качестве входной характеристики бралась мощность на выходе сумматора. Мощность на выходе каждого из синтезаторов варьировалась от 8 до 14 dBm. Сигнал регистрировался широкополосным микроволновым PIN фотоприёмником ДФДМШ40-012. Дальнейшая обработка производилась с помощью осциллографа DSAZ334A. Источником излучения являлся лазер ДМПО155-21. Для управления питанием оптического модуля и поддержания постоянной температуры лазерного диода использовался контроллер тока и температуры КТТ-002. Излучение лазера модулировалось EOspace 1x2 Dual-Output Modulator. Результаты работы представлены в таблице 1.

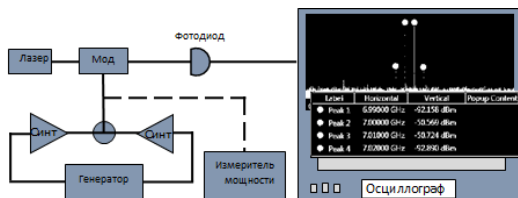


Рис.1. Схема экспериментальной установки

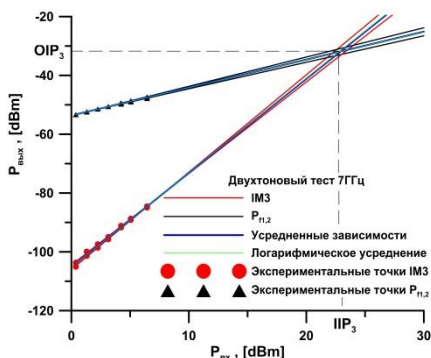


Рис. 2. Зависимость мощности продуктов нелинейных искажений от мощности входного двухтонового сигнала

Частота, ГГц	IIP ₃ , dBm	OIP ₃ , dBm
7	2,91	-31,87
8	24,1	-33,05
9	20,81	-3 ,2
10,3	26,72	-30,2
11	22,85	-33,5

Таблица 1. Результаты двухтонового теста

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе " УМНИК" в рамках договора №10665ГУ/2016 от 24.10.2016.

Литература

1. А. Е. Поляков Методика измерения $\square\square 2$ и $\square\square 3$ двухтонового сигнала // ТРУДЫ МФТИ. 2012. Том 4, № 2 С.54-63.
2. Р.С. Стариков Фотонные АЦП. // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. №2. С.3-39.
3. V. J. Urick, «Fundamentals of Microwave Photonics», Wiley, 488 (2015).

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ НА БАЗЕ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ

Зимовец И.А.¹, Филатов Д.О.²

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
603950 Нижний Новгород, Россия

² Научно-исследовательский физико-технический институт,
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
603950 Нижний Новгород, Россия
89107443659, e-mail: zim_inna@mail.ru

Создание эффективного источника излучения на кремнии является одной из приоритетных задач современных микро- и оптоэлектроники. Это обусловлено уникальными свойствами и дешевой кремний. Вместе с тем в области оптоэлектронных применений кремний не получил столь широкого распространения и уступает некоторым полупроводниковым материалам. Интенсивные исследования, проводимые в последнее время в этой области, открывают новые возможности и решения в создании структур на кремнии, эффективно излучающих при комнатной температуре [1]. Особый интерес здесь представляют структуры кремния, легированного редкоземельной примесью эрбия [2], что обусловлено, прежде всего, возможностью создания на их основе оптоэлектронных устройств для оптического диапазона 1.54 мкм. Излучательный переход ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ иона Er^{3+} на этой длине волны совпадает с окном прозрачности кварцевого волокна, что позволяет говорить о широких перспективах использования структур на основе Si:Er как в схемах микроэлектроники, так и в современных системах волоконно-оптической связи. К настоящему времени на основе кремния, легированного эрбием, разработан целый ряд приборных структур, работающих в диапазоне температур от 4.2 до 300 К. Кроме того, как показывают результаты теоретического анализа [3],[4] коэффициент усиления в структурах Si:Er с выделенным типом оптически активных центров может достигать значительной величины, порядка 30 см^{-1} , что значительно превышает ожидаемые

потери и позволяет говорить о перспективах замены старых линий в системах волоконно-оптической связи на принципиально новые, с целью повышения пропускной способности.

Данная работа посвящена исследованию оптоэлектронных процессов в светодиодных $p^+/n/n^+$ структурах на базе Si, легированного Er в обратно-смещенных кремниевых диодах при комнатной температуре, и поиску путей, позволяющих преодолеть, выявленные ограничения.

Экспериментальная часть работы, выполнена на кремниевых светодиодных структурах с различными профилями легирования эрбием. Исследованные в данной работе кремниевые диодные структуры выращены в Научно-исследовательском физико-техническом институте Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского с использованием оригинального метода сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии.

Литература

1. A. J. Kenyon. *Semicond. Sci. Technol.* **20**, R65 (2005).
2. J. Stimmer, A. Reittinger, V. F. N'utzetel, G. Abstreiter, H. Holzbrecher, Ch. Buchal. *Appl. Phys. Lett.* **68**, 3290 (1996).
3. М. С. Бреслер, О. Б. Гусев, Б. П. Захарченя, И. Н. Ясиевич. ФТТ **38**, 1474 (1996)..
4. O. B. Gusev, M. S. Bresler, P. E. Pak, I. N. Yassievich, M. Forcales, N. Q. Vinh, T. Gregorkiewicz. *Phys. Rev. B* **64**, 075302 (2001).

ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОПУТНОГО ДВУХВОЛНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ СРЕЗА (110)

Злобин А.О., Шандаров С.М., Буримов Н.И., Шмидт А.А.

*Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники
+79069500915, zlobin.tusur@yandex.ru*

Попутное двухволновое взаимодействие световых волн в фото-чувствительных кристаллах является основой измерительных систем различного назначения[1]. Кристаллы $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) класса силленитов привлекательны для использования в них благодаря быстрому отклику на световое воздействие и высокой голографической чувствительности. Помехой для их применения является сильная естественная оптическая активность, ограничивающая эффективную длину взаимодействия в них линейно поляризованных волн [2,3].

В данной работе исследовалась анизотропия эффективности попутного взаимодействия циркулярно-поляризованных волн на диффузионной динамической голограмме в образце BSO среза (110) толщиной $d = 8$ мм. Исследование проводилось по методике, описанной в [4], с использованием взаимодействия сильной стационарной накачки со слабым фазово-модулированным с частотой 1,65 кГц сигналом с длиной волны $\lambda = 633$ нм. Регистрация постоянной составляющей сигнала демодуляции осуществлялась соответствующим режимом цифрового осциллографа Tektronix TDS 2012C. По результатам анализа сигнала демодуляции была построена ориентационная зависимость относительной амплитуды его второй гармоники, приведенная на рисунке 1.

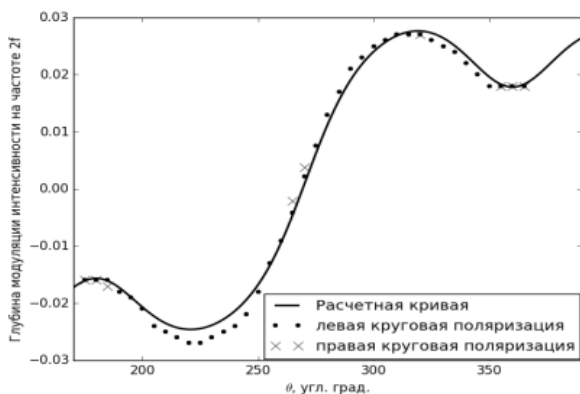


Рис.1. Ориентационная зависимость амплитуды второй гармоники

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках Госзадания на 2017-2019 г.г. (проект №3.8898.2017/8.9) и РФФИ (грант № 16-29-14046-офи_м).

Литература

1. Шандаров С.М., Буримов Н.И. и др. // В сб.: Голография. Наука и практика: тезисы докладов XIII международной конференции. 2016. С.140.
2. Петров М.П. и др.// Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992. 320 с.
3. Applications of photorefractive crystals / S. I. Stepanov // Rep. Prog. Phys. 57 P. 39, 1994
4. Попутное взаимодействие световых волн с циркулярной поляризацией в кристалле BSO среза (110) // VII международная конференция по фотонике и информационной оптике: Сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2018. - С.48.

РАСПАД НАЧАЛЬНОГО РАЗРЫВА ДЛЯ ФОТОННОГО ТЕЧЕНИЯ: ЭФФЕКТЫ САМОКРУЧЕНИЯ

Иванов С. К.^{1,2}, Камчатнов А. М.^{1,2}

¹*Институт спектроскопии РАН, г.Москва, г.Троицк, 108840*

²*Московский физико-технический институт, Московская область,
г.Долгопрудный, 141701*

Дисперсионные ударные волны - это осцилирующие волновые структуры, возникающие после опрокидывания волны. Такие структуры могут возникать во многих физических системах, например как, волны на воде, в бозе-эйнштейновских конденсатах, в магнетиках и в нелинейной оптике. В нелинейной оптике дисперсионные ударные волны изучались в одномодовых волоконных световодах для длин волн, соответствующих нормальной дисперсии, при укрупнении мощных пикосекундных оптических импульсов, имеющих почти прямоугольную форму. Оптические ударные волны изучались не только в импульсах, но и в световых пучках. Распространение высокоинтенсивных локализованных пучков, наложенных на низкоинтенсивный плоский волновой фон, привело к образованию как одномерных, так и двумерных пространственных ударных волн в фоторефрактивных кристаллах с дефокусирующей нелинейностью. В последнее время экспериментально исследовался волоконно-оптический аналог задачи распада разрыва [1]. Теоретически дисперсионные ударные волны представляются в виде промодулированных нелинейных периодических волн, а процесс их образования и эволюции описывается теорией модуляции Уизема. В приложениях волоконной оптики динамика импульсов обычно описывается нелинейным уравнением Шредингера (НУШ), которое учитывает два основных эффекта: нормальную дисперсию и нелинейность Керра. Для этого случая теория дисперсионных ударных волн уже хорошо развита, и основные параметры возникающих волновых структур могут быть рассчитаны для типичных идеализированных ситуаций в аналитической форме. В частности, рассмотрение многих реальных задач может быть сведено к анализу так называемой задачи об эволюции начального разрыва. Такой

разрыв может проявиться, например, как скачок зависящей от времени интенсивности света, который наиболее типичен в физике световых импульсов в волокнах или эволюции двух сталкивающихся импульсов. Классификация возможных волновых структур в теории НУШ приведена в работах [2,3] и дает теоретическую основу для расчета характерных параметров таких экспериментов, как в работе [1].

Однако в нелинейной оптике, помимо квадратичной дисперсии и керровской нелинейности, многие другие эффекты могут играть важную роль в распространении импульсов. Например, в волоконной оптике необходимо учитывать такие эффекты, как диссипация, дисперсия более высокого порядка, комбинационное рассеяние и самоукручение. Такие эффекты могут радикально изменить эволюцию дисперсионных ударных волн. Эффекты самоукручения обычно описываются последним членом в модифицированном НУШ (мНУШ), которое можно записать в виде

$$iq_x + \frac{1}{2}q_{tt} - |q|^2q - i\alpha(|q|^2q)_t = 0.$$

Ранее в бездисперсионном приближении было показано [4], что во время эволюции импульс приобретает асимметричную структуру вместо постепенной симметричной деформации ее формы, как происходило бы в теории НУШ. Это наблюдение демонстрирует необычную особенность члена самоукручения, вызванного задержкой диэлектрического отклика в оптических волокнах. Это означает, что «правое» и «левое» направления не эквивалентны друг другу, то есть поток «оптической жидкости» является анизотропным. Учет дисперсии может стабилизировать волну с самоукручением, что приводит к солитонному режиму распространения импульсов и соответствующим солитонным решениям так называемого «нелинейного уравнения Шредингера с производной». Однако роль эффекта самоукручения в эволюции дисперсионных ударных ранее не была выяснена.

В этой работе мы разработали метод модуляции Уизема для распространения импульсов в достаточно длинных волокнах с учетом эффектов самоукручения. Эта теория была применена к клас-

сификации волновых структур, возникающих из начального разрыва. В этом случае из-за невыпуклого поведения нелинейных скоростей ранее известные методы решения таких задач должны быть модифицированы с учетом новых типов волновых структур, называемых «контактными дисперсионными волнами». Эволюция этих структур описывается вырожденными пределами уравнений Уизема. В полученном построении одно решение уравнений Уизема соответствует двум различным волновым структурам. В этом отношении ситуация аналогична ситуации для модифицированного уравнения Кортевега - де Фриза, которая была развита в [5], но в нашей работе рассматривается система с двунаправленным распространением волн. Получившийся набор возможных волновых структур очень богат, и мы разработали графический метод определения того, какая структура будет возникать из заданного начального состояния. Этот метод достаточно гибок и применим к другой системе с невыпуклой гидродинамикой: к уравнению Ландау-Лифшица для динамики магнетика с одноосной анизотропией типа легкая плоскость [6].

Таким образом, теория, представленная в этой работе, с одной стороны, предсказывает некоторые новые явления, которые можно наблюдать экспериментально, а с другой формирует основу для разработки более полных теорий, учитывающих другие эффекты.

Литература

1. G. Xu, M. Conforti, A. Kudlinski, A. Mussot, and S. Trillo, *Phys. Rev. Lett.*, 118, 254101 (2017).
2. A. V. Gurevich and A. L. Krylov, *Sov. Phys. JETP*, 65, 944 (1987).
3. G. A. El et al, *Physica D*, 87, 186 (1995)
4. D. Anderson and M. Lisak, *Phys. Rev. A*, 27, 1393 (1983).
5. A. M. Kamchatnov, Y.-H. Kuo, T.-C. Lin, T.-L. Horng, S.-C. Gou, R. Clift, G. A. El, and R. H. J. Grimshaw, *Phys. Rev. E*, 86, 036605 (2012).
6. S. K. Ivanov, A. M. Kamchatnov, T. Congy, and N. Pavloff, accepted for publication in *Phys. Rev. E*.

НАНОСЕКУНДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ В ПЛАЗМЕННОМ РАСПЛАВЕ

Иванова А.К.^{1,2}, Ионин А.А.², Кудряшов С.И.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Московский Инженерно Физический Институт), Москва

²Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва

конт. тел. +7(917)5061376

e-mail mephynastya@gmail.com

Коллоидные растворы наночастиц, полученные лазерной абляцией, представляют основную форму наноматериалов, которые используются в биомедицине, нанофотонике, материаловедении и других [1]. Высокая интенсивность периодических импульсов лазера позволяет экологично и эффективно получать химически чистые коллоидные растворы различных видов материалов наночастиц [2].

Целью работы является описание механизма образования наночастиц кремния в воде под действием лазерного излучения наносекундных импульсов с частотой повторения 20 кГц, энергией в импульсе до 1 мДж.

Явления, происходящие при увеличении интенсивности лазерного излучения при абляции для фс и пс импульсов при сканировании на воздухе хорошо известны. Для нс импульсов наиболее важным является подбор необходимых параметров эффективной генерации нч.

Изменяя интенсивность лазерного излучения в пределах 0,4 – 1 мДж и сканируя образец со скоростью 80 мм/с, были получены функции потери массы образца после сканирования (Рис. 1) и зависимость коэффициента экстинкции, образованных коллоидных растворов (Рис. 2).

По экспериментально полученным зависимостям были описаны различные механизмы образования нч при нс генерации в жидкости. Так же было определено, что лазерная абляция в данном случае сопровождается фазовым взрывом плотного расплавленного материала в воду, при этом быстрый рост коэффициента экстинк-

ции указывает на диссоциацию продуктов абляции в образованной плазме.

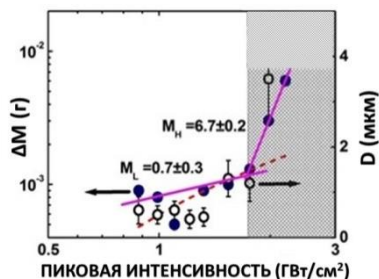


Рис. 1. Зависимость потери массы от плотности интенсивности лазерного излучения

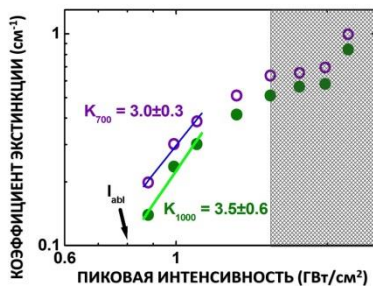


Рис. 2. Зависимость коэффициента экстинкции от плотности интенсивности лазерного излучения

Литература

1. N.G. Semaltianos, "Nanoparticles by laser ablation", Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences. 2010. 35. P.105.
2. R. Streubel, S. Barcikowski, B. Gökce, "Continuous multigram nanoparticle synthesis by high-power, high-repetition-rate ultrafast laser ablation in liquids", Opt. Lett.. 2016. 41. P.1486.
3. A. Letzel, B. Gökce, P. Wagener, S. Ibrahimkuty, A. Menzel, A. Plech, S. Barcikowski, "Size Quenching during Laser Synthesis of Colloids Happens Already in the Vapor Phase of the Cavitation Bubble", J. Phys. Chem. C. 2017. 121. P.5356.

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ТИТАНА В СРЕДЕ ЖИДКОГО УГЛЕВОДОРОДА

Иващенко А.В.¹, Хорьков К.С.¹, Кочуев Д.А.¹, Тарасова М.А.¹

¹Владимирский государственный университет
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
Тел. +79049552142, e-mail: alenaenergie@gmail.com

В настоящее время одной из перспективных и развивающихся областей применения порошковых материалов является область аддитивных технологий, где порошки должны обладать узким гранулометрическим составом, высокой чистотой, а так же сферичностью частиц. Изготовление деталей из порошка титана и его соединений обусловлено исключительными физико-механическими свойствами, такими как высокая коррозионная стойкость, высокая прочность, жаростойкость. Поэтому целью работы является разработка методов формирования титановых микросфер.

В работе представлены результаты обработки фемтосекундным лазерным излучением поверхности титана в жидкой среде. В экспериментах использовалась фемтосекундная *Ti:Sapphire*-лазерная система: $\lambda=800$ нм, $\tau=50$ фс, $f=1$ кГц, $P_{ср}=450$ мВт. Титановый образец марки ВТ1-0 был помещен в кювету с реакционной жидкостью предельным углеводородом – гексаном и обрабатывался с помощью гальваносканатора со скоростью 0,1-200 мм/с. В результате обработки на поверхности образца было зарегистрировано образование структурированных покрытий и микросфер (рис. 1).

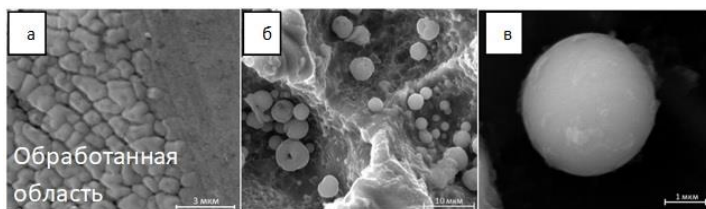


Рис.1. РЭМ-изображения поверхности в зависимости от скорости обработки: а – 40 мм/с, б – 0,1 мм/с, в – микросфера из титана

Формирование покрытий происходило на скоростях сканирования лазерным излучением 10-80 мм/с (рис. 1(а, б)). При уменьшении скорости сканирования до 0,1 мм/с наблюдалось образование частиц титана сферичной формы, размером порядка 1-3 мкм (рис 1(в)) [1].

Обработанная область исследовалась при помощи спектроскопии комбинационного рассеяния. Было зарегистрировано образование карбида титана, как на обработанной поверхности (рис. 2,а), так и на поверхности микросфер (рис. 2,б). Формирование карбида титана при воздействии фемтосекундного лазерного излучения происходит вследствие диссоциации углеводорода и активной ионизации поверхности титана.

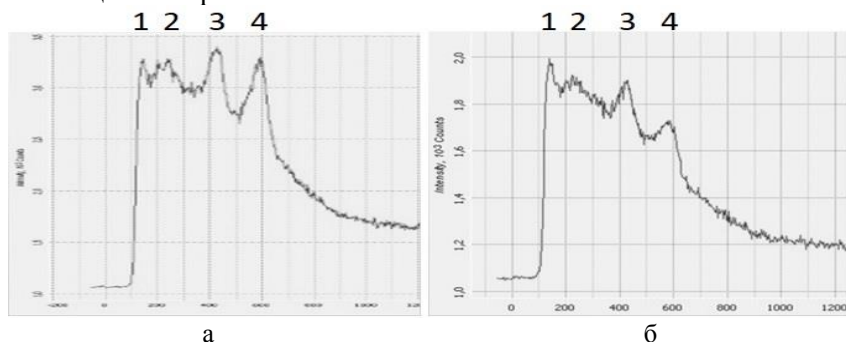


Рис. 2. КР-спектры: а – покрытие карбида титана, б – поверхности микросферы, (пики спектров TiC (cm^{-1}) 1 – 145, 2 – 249, 3 – 431, 4 – 601)

В работе предложены методы формирования покрытия карбида титана, а так же микросфер, состоящих из карбида титана. Размер микросфер составлял порядка 1-3 мкм. Данные результаты могут быть использованы в области аддитивных технологий, где полученные порошковые материалы смогут служить в качестве сырья для данных технологий.

Литература

1. D.A. Kochuev et al. Formation of microspheres under the action of femtosecond laser radiation on titanium samples in hydrocarbons. J. Phys. Conf. Ser. Vol. 951. № 1. P. 12015 (2018).

СИНТЕЗ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ДВУХСЛОЙНЫМ РЕЗОНАТОРОМ

Идрисов Р. Ф.

Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва. Самара

+79279002187, rustam1idrisov@gmail.com

Разработка волоконно-оптических датчиков физических воздействий с высоким разрешением измеряемой величины, в настоящее время, является актуальной задачей. Чувствительным элементом датчика может служить периодическая структура, сформированная в волоконном световоде. Область применения датчиков на основе волоконных периодических структур показателя преломления: медицина, гражданское строительство, авиационно-космическая отрасль, судостроение, нефте- и газодобыча, объекты ядерной промышленности, ж/д и автомобильное строительство.

Целью работы является синтез длиннопериодной волоконной решётки показателя преломления с двухслойным резонатором (рис. 1) и исследование амплитудно-частотных характеристик спектра пропускания.

Период таких структур значительно превышает длину волны, что в свою очередь упрощает технологию изготовления подобных волоконных решёток. Разработка данных структур может быть реализована с помощью разряда электрической дуги сварочного аппарата для оптического волокна.

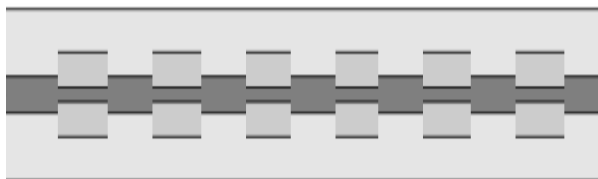


Рис.1 Волоконная периодическая структура с двухслойным резонатором

При распространении излучения в длиннопериодных решётках происходит резонансное взаимодействие моды сердцевинны с модами оболочки волокна. В результате резонансного взаимодей-

ствия, часть энергии моды сердцевины переходит в оболочку световода. Резонансная связь в волоконных световодах проявляется в виде провалов в спектре пропускания решётки. Частотный сдвиг резонансной длины волны и изменение глубины спектрального провала характеризует степень физического воздействия на волоконную структуру.

Резонансная длина волны определяются по формуле:

$$\lambda = (n_{эфф}^я - n_{эфф}^{об})\Lambda \quad (1)$$

где $n_{эфф}^я$ и $n_{эфф}^{об}$ - эффективные показатели преломления ядра и оболочки оптического волокна; Λ - период структуры.

Ширина провала спектра пропускания определяется из соотношения:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda}{\Delta n_{эфф} L} \sqrt{1 + \frac{4kL}{\pi}} \quad (2)$$

где k - коэффициент связи; L - длина структуры

Коэффициент пропускания периодической структуры определяется как отношение интенсивности моды сердцевины на выходе к интенсивности моды сердцевины на входе:

$$T = \left| \frac{E_{вых}}{E_{вх}} \right|^2 = \left| \frac{\beta}{4\omega^2 \mu_0^2} \sum_k \beta_k |W|^2 \exp(i\beta_m z) \right|^2 \quad (3)$$

где β - постоянная распространения; ω - циклическая частота; μ - магнитная проницаемость; W - перекрытие мод.

Литература

1. Z. Gu, Q. Ling, J. Lan, K. Gao. High sensitive LPFG magnetic field sensor based on dual-peak resonance. Optics and Laser Technology Vol. 96. P. 249–253 (2017).

ИЗМЕРЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ «КАНАЛ-2» ДЛЯ МИШЕНЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ И МЕДИ

Изотов Н. В., Пузырёв В.Н., Саакян А.Т.,
Стародуб А.Н., Якушев О.Ф.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
(499) 132-65-74, n.v.izotov@mail.ru*

На экспериментальной установке «Канал-2» [1], предназначенной для исследования взаимодействия мощного лазерного излучения с веществом, была проведена серия экспериментов по определению гидродинамической эффективности, с применением метода баллистического маятника [2]. В качестве мишеней использовались сплошные пластины из алюминия Al и меди Cu, давление в камере взаимодействия 10^{-4} мм рт. ст., длина маятника 145 мм, масса без мишеней 6,2 г, масса с мишенью 7,2 г. Основные параметры лазерного излучения в проведенных экспериментах были следующими: длина волны 1,06 мкм, длительность импульса по полувысоте 2,5 нс, ширина спектра 26 Å, расходимость пучка 1,4 мрад, энергия одного лазерного импульса в проведенных экспериментах до 10 Дж, плотность потока мощности при фокусировке на поверхность мишени $\sim 10^{13} - 10^{14}$ Вт/см². Выявлено, что в указанных лазерных параметрах коэффициент гидродинамической эффективности изменялся от 2,4% до 3%. При этом для более легких мишеней он был меньше, чем в случае более тяжелых мишеней.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (грант №16-02-00293).

Литература

1. S.I. Fedotov, L.P. Feoktistov, M.V. Osipov, A.N. Starodub. Laser for LTF with controlled function of mutual coherence of radiation. J. Russian Laser Research. No.25. P.79. (2004).
2. D.W. Gregg and S.J. Thomas. Momentum transfer produced by focused laser giant pulses. J. Appl. Phys. Vol.37. No.7. P. 2787 (1996).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕЙТЕРИРОВАННОЙ ВОДЫ НА НАЧАЛЬНУЮ СТАДИЮ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛИЗОЦИМА МЕТОДОМ МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ

***Ильина К.Б.^{1,2}, Бойкова А.С.^{1,2}, Дьякова Ю.А.^{1,2},
Марченкова М.А.^{1,2}, Конарев П.В.^{1,2}, Крюкова А.Е.^{1,2},
Писаревский Ю.В.^{1,2}, Ковальчук М.В.^{1,2}***

¹ ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Москва

² НИЦ “Курчатовский институт”, Москва
ilina-ks@mail.ru

В работе исследовалось влияние типа растворителя, протонированной (H_2O) и дейтерированной (D_2O) воды, на особенности формирования олигомеров белка лизоцима на начальной стадии роста кристаллов тетрагональной сингонии. Ранее с помощью методов малоуглового рентгеновского и нейтронного рассеяния (МУРР и МУРН), было показано, что при кристаллизации лизоцима тетрагональной сингонии в растворе на начальной стадии образуются димеры и октамеры (рис. 1).

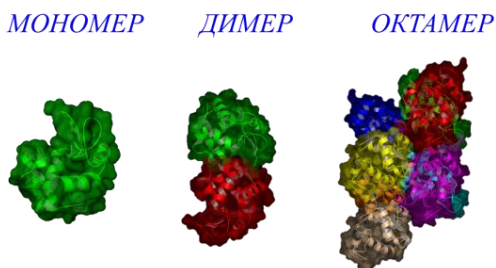


Рис.1. Олигомеры лизоцима, которые образуются в растворе на начальной стадии кристаллизации лизоцима тетрагональной сингонии.

Структура формирующихся олигомеров соответствует структуре конечного кристалла. Концентрация октамеров увеличивается с ростом концентрации белка и понижением температуры [1-2]. При этом растворы, состав которых не приводит к росту кристаллов, состоят только из мономеров белка.

В данной работе методом МУРР показано, что при замене растворителя с H_2O на D_2O на начальной стадии кристаллизации лизоцима в условиях роста кристаллов тетрагональной сингонии так же, как и в случае растворителя H_2O , образуются димеры и октамеры. Количество октамеров так же увеличивается при повышении концентрации белка и понижении температуры. Замена растворителя приводит к увеличению процентного содержания октамеров в растворе при прочих равных условиях.

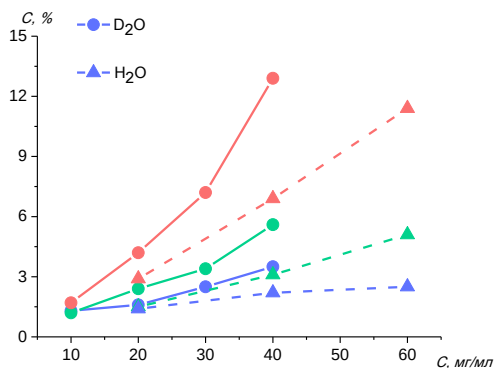


Рис.2. Зависимости концентрации октамеров лизоцима в кристаллизационный растворах, приготовленных на основе H_2O и D_2O , от концентрации белка при 10 °C (синяя), 20 °C (зеленая) и 30 °C (красная);

Литература

1. Ю.А. Дьякова, К.Б. Ильина, П.В. Конарев и др. Кристаллография. 2017. Том 62. № 3. С. 375–380;
2. A.S. Boikova, Y.A. Dyakova, K.B. Ilina et al. Acta Cryst. D73. 2017. P. 591-599;
3. А.С. Бойкова, Ю.А. Дьякова, К.Б. Ильина и др. Кристаллография. 2017. Том 62. № 6. С. 876–881

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ПО РАЗЛЁТУ ПЛАЗМЫ И ЕЁ МЯГКИМ РЕНТГЕНОВСКИМ СПЕКТРАМ БЕРИЛЛИЕВОЙ МИШЕНИ НА УСТАНОВКЕ «КАНАЛ-2»

***Калиненко А.И., Андреев С.Н., Кологривов А.А., Пузырёв В.Н.,
Саакян А.Т., Стародуб А.Н., Толстихина И.Ю., Фроня А.А.,
Якушев О.Ф.***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
(499)132-65-74, flix105@mail.ru*

Проведено сравнение экспериментальных результатов по пространственному разлёту плазмы бериллиевой мишени при воздействии на неё частично-когерентного лазерного излучения с теоретическими расчётами в рамках модели стационарной короны [1]. В экспериментах, которые были проведены на лазерной установке «Канал-2» [2], длина волны лазерного излучения была равна 1.06 мкм, длительность импульса по полувысоте – 2.5 нс, ширина спектра – 26 Å, расходимость – 1.4 мрд, плотность потока мощности на мишени ~ 1013 Вт/см², диаметр пятна фокусировки ~ 170 мкм.

Сравнение по разлёту плазмы проводится как для основной частоты, так и для частоты второй гармоники лазерного излучения. Экспериментальные результаты демонстрируют разлёт, близкий к струе в обратном направлении относительно хода лазерного импульса. В то же время теоретические расчёты предсказывают сферически изотропный разлёт плазмы.

Помимо пространственного разлёта плазмы были зарегистрированы спектры мягкого рентгеновского излучения, которые обсуждаются в рамках теоретической модели локального термодинамического равновесия (ЛТР) [3]. Проведённые теоретические расчёты по коду FLYCHK [4] в рамках модели ЛТР хорошо согласуются с экспериментально полученными спектрами.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (грант №16-02-00293).

Литература

1. Yu.V. Afanasiev, E.G. Gamaly, S.Yu. Guskov, N.N. Demchenko, V.B. Rozanov. Acceleration and compression of matter due to laser heating and ablation. Laser and Particle Beams. Vol.6. Part.1. P.1. (1988).
2. S.I. Fedotov, L.P. Feoktistov, M.V. Osipov, A.N. Starodub. Laser for LTF with controlled function of mutual coherence of radiation. J. Russian Laser Research. No.25. P.79. (2004).
3. О.Б. Ананьин, Ю.В. Афанасьев, Ю.А. Быковский, О.Н. Крохин. Лазерная плазма. Физика и применения. (М.: МИФИ, 2003).
4. H.-K. Chung, M.H. Chen, W.L. Morgan, Y. Ralchenko and R.W. Lee. FLYCHK: Generalized population kinetics and spectral model for rapid spectroscopic analysis for all elements. High Energy Density Physics. Vol.1. Is.1. P.3 (2005).

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА МАГНИТНУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ MN-ZN ФЕРРИТОВ

Каранский В.В., Олицкий В.К.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск

+7-923-440-72-78, karanskii_vitali@mail.ru

Развитие материаловедения немыслимо без использования материалов с улучшенными свойствами и характеристиками. Особое место среди большого многообразия материалов занимают ферриты, которые широко применяются в электронной промышленности [1, 2]. Значительный интерес из большого многообразия ферритов представляют марганец-цинковые ферриты структуры шпинели, имеющие высокое значение магнитной проницаемости. Известно, что решающее влияние на магнитные свойства Mn-Zn ферритов оказывает их микроструктура. Одними из эффективных способов управления микроструктурой является электронная и лазерная обработка. Целью работы являлось исследование влияния микроструктуры на магнитную проницаемость в приповерхностном слое Mn-Zn феррита после электронного и лазерного воздействия.

На рис. 1 представлены зависимости магнитной проницаемости от плотности электронного и лазерного пучка.

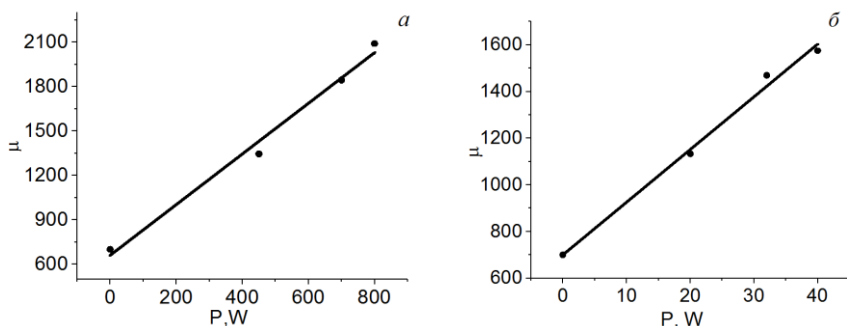


Рис. 1 Зависимость магнитной проницаемости от мощности: а – электронная обработка; б – лазерная обработка

На рис. 2 представлены микроструктуры поверхности Mn-Zn ферритов. На рис. 2, а представлена микроструктура поверхности исходного образца, характеризующаяся большим количеством дефектов, межзеренных границ и пор. На рис. 2, б и 2, в представлены микроструктуры образцов после электронной и лазерной обработки соответственно их которых видно, что электронная и лазерная обработка приводит к уменьшению дефектов, улучшению поверхности, за счет увеличения размера зерна.

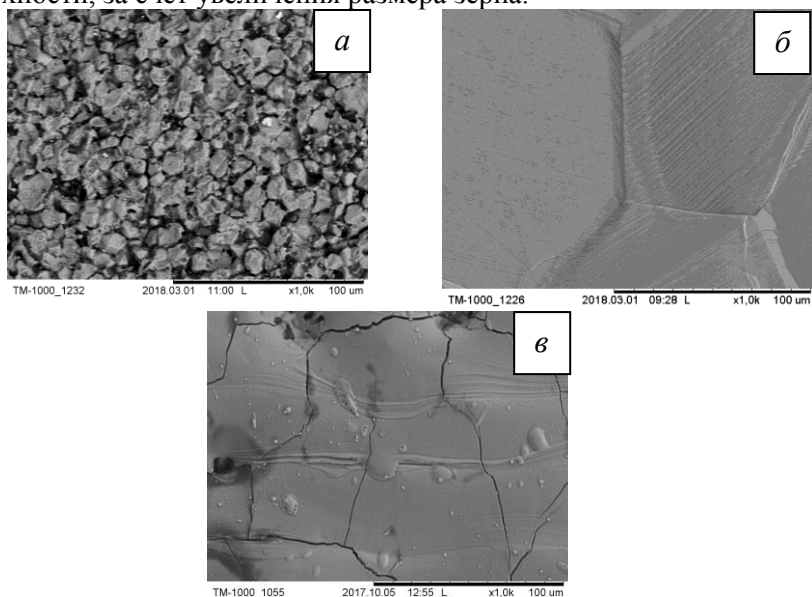


Рис. 2 Микроструктуры поверхности Mn-Zn ферритов: а – до обработки; б – электронная обработка; в – лазерная обработка

Увеличение магнитной проницаемости после обработки связано скорее всего с уплотнением структуры.

Литература

1. Smit J and Verweel J. Ferrites at radio frequencies, McGraw-Hill – New York, (1971).
2. Murthy S.R. Low temperature sintering of MgCuZn ferrite and its electrical and magnetic properties – Bull. Mater. Sci., (2001).

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СВЧ РАЗРЯДА В ОБЪЕМНОМ РЕЗОНАТОРЕ

Кирилов А. А., Токарев А. В.

*Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек
+996704620666, tema.mirou2013@yandex.ru.*

Актуальность работы:

В последние десятилетия вопросам использования электромагнитной энергии сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона для повышения энергосбережения в различных технологических процессах уделяется значительное внимание [2]. СВЧ-энергия востребована для получения чистой плазмы. Особенности СВЧ-плазмы состоят в ее высокой чистоте, которую нельзя получить с помощью обычных плазмотронов, в более эффективном вводе энергии в СВЧ-плазму и в возможности получения плотной высокотемпературной плазмы в небольших объемах. Все это предопределяет перспективность исследования плазмы СВЧ-разряда и применения ее для решения новых прикладных задач.

Целью данной работы является определение условий возникновения СВЧ – разряда в объемном резонаторе, как в газовых, так и в жидких диэлектрических средах с использованием явления кавитации жидкостей [3]. В качестве объемного резонатора используется камера из нержавеющей стали размерами $34 \times 34 \times 20$ см. Источником СВЧ – излучения является магнетрон мощностью 800 Вт. СВЧ – излучение подается в резонатор через волновод сечением 5×10 см. Для питания магнетрона используются схемы как с однопериодным (рис. 1) так и двухпериодным выпрямлением тока.

Экспериментальным путем устанавливается расположение точки в резонаторе с наибольшей напряженностью поля. В этом месте располагается цилиндр с малым поглощением СВЧ, в который подается газ или помещается жидкость, где при помощи специальных условий создается пузырек за счет кавитации.

Работы в данном направлении позволяют найти оптимальные методы получения СВЧ – плазмы, которая может использоваться в плазмохимии при получении чистых химических веществ, для по-

лучения нанопорошков и наноматериалов, в исследовательских целях, а также для решения проблем в энергетике.

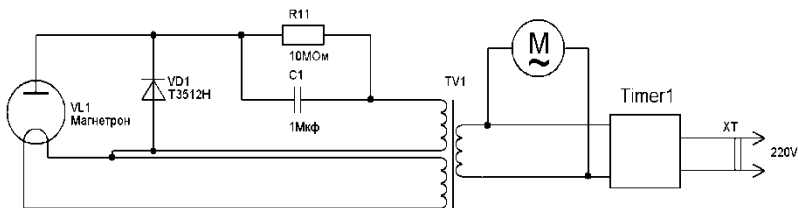


Рис.1. Принципиальная электрическая схема установки с однопериодным выпрямлением

Литература

1. В.М. Батенин, И.И. Климовский, Г.В. Лысов, В.Н. Троицкий СВЧ - генераторы плазмы: конструкции, характеристики, расчет. М.:Энергоатомиздат, 1988. 224 с.
2. Плазменные электротехнологические установки: учебник для вузов / В.С. Чередниченко, А.С. Анышаков, М.Г. Кузьмин: под ред. В.С. Чередниченко.- Новосибирск: Изд-во. НГТУ, 2008 -602с
3. Инициирование пробоя в жидкости с помощью кавитационных пузырьков /Дрожжин А.П., Коробейников С.М., Тесленко В.С. - Научный вестник НГТУ, 2003 - №2

СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА РАСТВОРЕННОГО В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ

Клишин Ю.А.¹, Литвинов А.В.¹, Лаптев А.В.²

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

² *ЗАО «ИНТЕРА», Москва
klishin.yuri@mail.ru*

Определение концентрации водорода в трансформаторном масле позволяет прогнозировать развитие аварийных режимов работы промышленных высоковольтных трансформаторов. Существующие методы измерений технически сложны и дорогостоящи, т.к. зачастую подразумевают прокачку масла через внешние устройства и требуют использования маслостойких газопроницаемых мембран. Хорошей альтернативой является разработанный в НИЯУ МИФИ малогабаритный МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) сенсор, который имеет высокую чувствительность к водороду [1] и может использоваться как в газовой среде, так и непосредственно в масле. Такой сенсор представляет собой конденсатор, емкость которого изменяется под действием исследуемого газа.

Известно, что на быстродействие МДП сенсора влияет температура его структуры. При непосредственном контакте с маслом, в котором возникают интенсивные явления теплопереноса, обеспечить поддержание постоянной температуры сенсора затруднительно, поэтому возникает задача определения её влияния на порог чувствительности и быстродействие сенсора.

Измерения проводились при двух значениях температуры: 21 и 62 °С. В первом случае чувствительный элемент сенсора непосредственно контактировал с маслом и имел температуру 21 °С, а во втором случае был изолирован от масла мембранной, что позволяло устанавливать стабильную температуру сенсора с помощью встроенного нагревателя до 62 °С. В обоих случаях сенсор помещался в масло, находящееся в герметичном сосуде объемом 1 л. Объем масла составлял 160 мл. В воздушный промежуток над маслом добавлялся водород в диапазоне концентраций 5-100 ppm. Для

ускорения насыщения масла водородом использовалось перемешивающее устройство.

Проведенные исследования показали, что в первом случае чувствительность сенсора составила 2 pF/ppm, при этом быстродействие значительно снижено: время отклика $\tau_{0,9}$ составило 250 мин. При низкой температуре быстродействие МДП сенсора очень низкое, вследствие медленной диффузии молекул через чувствительный электрод сенсора. Во втором случае чувствительность сенсора составила 6 pF/ppm, $\tau_{0,9} = 32$ мин. По сравнению с первым случаем, быстродействие определяется временем диффузии водорода через мембрану, т.к. сенсор нагрет до 62 °С и его быстродействие составляет ~ 15 мин.

Согласно данным, приведенным в [2], в отсутствии конвективных потоков водород диффундирует в трансформаторное масло значительно медленнее, чем сигнал МДП сенсора успевает стабилизироваться в обоих случаях, т.е. время реакции самого сенсора на водород меньше. В совокупности с простотой изготовления и эксплуатации сенсора, отсутствием производителей его аналогов в России, МДП сенсор является перспективной заменой существующих технологий подобных измерений.

Литература

1. Николаев И. Н., Калинина Л. Н., Литвинов А. В. МДП-СЕНСОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВОДОРОДА В ДИАПАЗОНЕ 10-4... 10² об.% //Датчики и системы. – 2008. – №. 12. – С. 48-52.
2. Бычков А. Л., Коробейников С. М., Рыжкина А. Ю. Определение коэффициента диффузии водорода в трансформаторном масле //Журнал технической физики. – 2011. – Т. 81. – №. 3. – С. 106-107.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО ПЕРОВСКИТА $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ ДОПИРОВАННОГО НИКЕЛЕМ

Кобяков И.Ю., Толстых Н.А., Бочаров А.И., Гриднев С.А.

*Воронежский государственный технический университет,
Воронеж*

89204285448, kobyakov.vania@yandex.ru

Получение и исследование новых функциональных керамических материалов, обладающих уникальными физическими свойствами, является важной задачей физики твердого тела. Керамические материалы на основе сложных оксидов различных металлов обширно применяются при изготовлении электронных компонентов: конденсаторов, фильтров, устройств обработки и хранения информации, пьезоэлектрических и сегнетоэлектрических устройств. Приоритетной задачей в исследовании сложных оксидов является оптимизация их диэлектрических характеристик путем варьирования состава.

По стандартной двухстадийной керамической технологии [1] получены образцы слоистых сегнетоэлектриков со структурой фаз Ауривиллиуса $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ (BTF) и $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_{1,9}\text{Ni}_{0,1}\text{O}_{18}$ (BTFN). Рентгеноструктурный анализ (CuK α – излучение) керамических материалов состава $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$, $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_{1,9}\text{Ni}_{0,1}\text{O}_{18}$ показал, что исследуемые соединения являются однофазными и принадлежат орторомбической группе симметрии с числом перовскитоподобных слоев $m = 5$.

Проведены измерения диэлектрических свойств данных материалов в интервале температур 30 – 600 °С. На рисунках 1 и 2 представлены зависимости диэлектрической проницаемости $\epsilon'(T)$ и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta(T)$ от температуры на частоте 1 кГц, из которых можно выделить ряд особенностей.

При температуре 260 °С наблюдаются пики диэлектрической проницаемости обоих составов, что позволяет сделать предположение о существовании структурных фазовых переходов. При дальнейшем увеличении температуры $\epsilon'(T)$ состава BTFN возраста-

ет значительно, чем у ВТФ. В свою очередь значения $\text{tg}\delta(T)$ на интервале 260 – 600 °С у состава ВТФN ниже, чем у ВТФ.

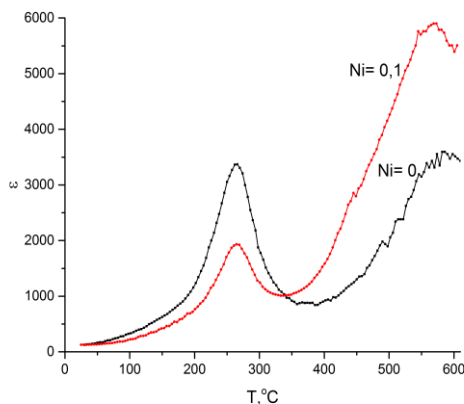


Рис.1. Температурные зависимости $\epsilon'(T)$

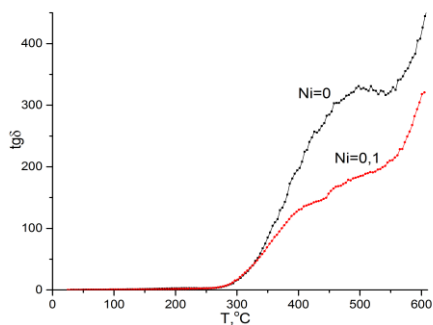


Рис.2. Температурные зависимости $\text{tg}\delta(T)$

Исходя из перечисленных особенностей можно сделать вывод, что добавление малой концентрации Ni в состав ВТФ с замещением Fe улучшает его диэлектрические свойства при температуре выше фазового перехода.

Литература

1. И.А. Глозман. Пьезокерамика. (М: Энергия, 1967).

РАДИОМОДИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИДИЦИКЛОПЕНТАДИЕНА ЭЛЕКТРОНАМИ

Кожанова М.Ю.¹, Литвиненко О.В.¹

*¹ Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
Димитровград*

+79278281197, IVIary.IVlitr@yandex.ru

В качестве используемых материалов для армирования авиационно-космических композитов применяются как термо- так и реактопласты. Один из термореактивных полимеров – дициклопентадиен (ДЦПД) – полимер с уникальными потребительскими свойствами: низкой плотностью, высокой прочностью, устойчивостью при высоких и низких температурах, стойкостью к воздействию химических реагентов. Чем лучше начальные физико-механические свойства исходного материала, используемого в качестве полимерной композиционной матрицы, тем выше характеристики конечного продукта. Изменение свойств вещества в широком диапазоне возможно путем варьирования компонентов, добавления модификаторов, катализаторов и т.д., а так же их регулировка путем его облучения различными видами ионизирующего излучения. В связи с чем целью данной работы является исследование радиомодификации механических свойств полидициклопентадиена (ПДЦПД).

При облучении полимеров в результате взаимодействия излучения с веществом возникают два основных процесса: деструкция и сшивка полимерного материала. Преобладание тех или иных процессов определяется структурой первичного трека, физико-химическими свойствами молекул полимера и в значительной степени составом и состоянием среды, соответственно, если будет преобладать деструкция материала – физико-механические свойства ухудшатся, если сшивка – улучшатся.

Основным недостатком большинства материалов, полученных по технологии polyHIPE, являются их низкие физико-механические свойства [1]. Эта проблема не актуальна для полидициклопентадиена, полученного по технологии polyHIPE, однако, исследований

структурной модификации материала при воздействии радиоактивности не проводилось.

Для исследования модификации физико-механических свойств полимера было выбрано облучение материала ускоренными электронами. Облучение образцов проводилось на импульсном линейном ускорителе. Результаты механических испытаний представлены ниже.

Преобладание деструкции видно из значительного снижения необходимого усилия для разрушения образца с ростом дозы облучения, зависимость будет исследована в дальнейшем, и объясняется радиационно-химическими и физико-химическими процессами, такими как разрушение пространственной структуры, уменьшение средней относительной молекулярной массы вещества в полимерном материале.

Литература

1. Sebastijan Kovacic, Peter Krajnc and Christian Slugovc. Inherently reactive polyHIPE material from dicyclopentadiene // Chem. Commun., 2010. – V. 46. P. – 7504-7506.

РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ БОРА С РАСПРЕДЕЛЁННЫМ ТИПОМ КОВАЛЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ

Колодкин С.В.¹, Беленков Е.А.¹

¹ *Челябинский государственный университет, Челябинск
+7(951)-485-34-61, kolodkin.s.v@yandex.ru*

Ковалентные связи в химических соединениях формируются за счет того, что электроны валентных оболочек соседних атомов, связанных ковалентными связями одновременно принадлежат обоим соседним атомам. Каждая из ковалентных связей формируется парой электронов, которая локализуется в промежутке между атомами, связанными ковалентной связью. Таким образом, формально получается, что число ковалентных связей, которые может образовывать отдельный атом должно быть не больше числа электронов на его внешней оболочке. Действительно, атомы углерода, имеющие четыре электрона на внешней оболочке, формируют четыре ковалентных связей с соседними атомами [1,2]. Однако известны соединения, в которых это правило нарушено. Например, атомы бора имеют три электрона на внешней оболочке, но в кристаллах бора каждый атом находится в шестикоординированном состоянии, то есть формирует шесть ковалентных связей с соседними атомами. Такие связи называются распределёнными ковалентными связями. Механизм и закономерности формирования их не ясны. Поэтому в данной работе выполнены расчеты структуры кристаллов бора, как наиболее типичного соединения с распределенным типом ковалентных связей.

Для расчетов брали кластеры бора, содержавшие 156 атомов бора и 73 атомов водорода. Атомы водорода компенсировали обрывные межатомные связи на поверхности кластеров. На первом этапе структура кластеров была геометрически оптимизирована методом молекулярной механики MM+. Изображение полученного кластера приведено на рисунке 1. На следующем этапе была выполнена геометрическая оптимизация полуэмпирическими квантово-механическими методами MDNO и AM1. Анализ структуры кластеров показал, что атомы бора находятся в них в шестикоорди-

нированных состояниях. Формально структура кристаллов бора состоит из икосаэдров, содержащих по 12 атомов бора, сшитых ковалентными связями в кристаллическую структуру. Особенность структуры такова, что длины бор-борных связей в кластере существенно отличаются. Длины связей между икосаэдрическими структурными группами на 2% короче, чем межатомные связи в икосаэдрах. Это свидетельствует о различном распределении электронной плотности в ковалентных связях, формирующихся между атомами бора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

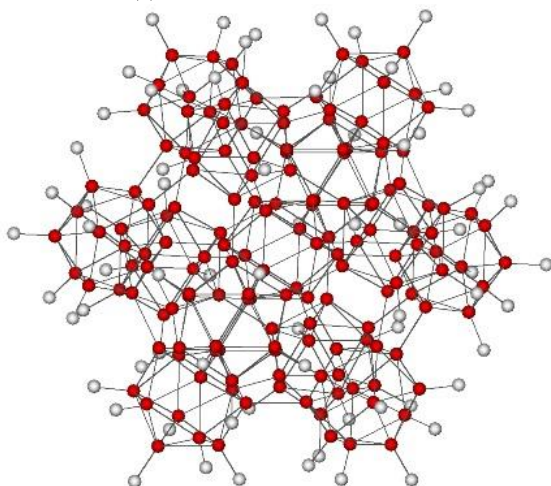


Рис.1. Геометрически оптимизированная структура кластера из атомов бора (красный цвет), поверхностные связи компенсированы атомами водорода (серый цвет).

Литература

1. E.A. Belenkov, V.V. Mavrinskii, T.E. Belenkova, V.M. Chernov. Structural modifications of graphyne layers consisting of carbon atoms in the sp - and sp^2 -hybridized states. Journal of Experimental and Theoretical Physics. V. 120(5). P. 820-830 (2015).
2. E.A. Belenkov, V.A. Greshnyakov. Structural varieties of polytypes. Physics of the Solid State. V. 59(10). P. 1926-1933 (2016).

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПЛАМЕНИ

Коростелева Ю.В., Диденко А.А.

Самарский национальный исследовательский университет

имени академика С.П. Королёва, г. Самара

+79179540878, julievaass@mail.ru

Метод лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) относится к методам лазерной молекулярной спектроскопии и эффективно используется в различных областях науки и техники. В частности, он позволяет измерять с высоким временным и пространственным разрешением концентрации химических компонентов и температуру газа или пламени [1, 4].

Воздействие лазерного излучения определенной длины волны, настроенной на конкретные переходы, вызывает вынужденные переходы молекул с отдельного колебательно-вращательного уровня нижнего электронного состояния на определенный колебательно-вращательный уровень верхнего. Флуоресценция возникает при обратных переходах на уровни нижнего электронного состояния и может существовать в течение времени жизни активных молекул после лазерного импульса. Перестраивая длину волны возбуждающего излучения, регистрируют интенсивность ЛИФ и получают спектр, который отражает распределение населенностей исходных колебательно-вращательных уровней, форма спектра – температуру, высота линий – концентрацию химического компонента [2].

На рисунке 2 а в качестве примера, представлен спектр флуоресценции [1], а её интенсивность определяется по формуле [3]:

$$dW_{bc}^{\Phi\lambda} = \frac{I(\omega_1)N(a)\omega_{cb}^4e^4}{\hbar^2c^4} \left| \sum_{M_b} \frac{(r_{cb}e_{\alpha_2})(r_{ab}e_{\alpha_1})}{\omega_{ab}-\omega_1-\frac{i\gamma_b}{2}} \right|^2 dO \quad (1)$$

где: $b\gamma_b$ – естественная ширина уровня, $dW_{bc}^{\Phi\lambda}$ – энергия флуоресценции, dO – элемент телесного угла.

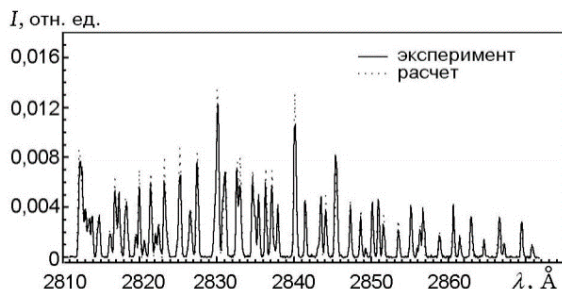


Рис.1. Формы спектров ЛИФ радикала ОН, полученных расчетом и в эксперименте при горении этанола [1]

На рисунке 1 представлен в качестве примера ЛИФ спектр радикала – ОН, полученный с помощью расчета и экспериментально. Это некоторая зависимость интенсивностей от волнового числа. Он имеет некоторые пики, соответствующие некоторым колебательно-вращательным переходам. Важной задачей является научиться получать расчетным методом спектр ЛИФ. Для этого необходимо найти положения линий переходов в спектре и их вычислить интенсивности этих линий. По такому спектру можно определить температуру пламени, а также оценить концентрацию молекул.

Литература.

1. Бояршинов, Б.Ф. Измерение методом ЛИФ температуры и концентрации радикала ОН при горении этанола и водорода. Б.Ф. Физика горения и взрыва. №5. С.16-20 (2004).
2. Полежаев, Ю.В. Законы горения. (М.: Энергомаш, 2004).
3. Демтрёдер, В. Лазерная спектроскопия: Основные принципы и техника эксперимента. (М: Наука, 1985).
4. Barlow, R.S. Laser diagnostics and their interplay with computations to understand turbulent combustion. Proceedings of the Combustion Institute. №31. -P. 49–75 (2007).

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ФОТОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АМОРФНОГО МЕ- ТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА AL85NI10LA5

Косырева А.Н.¹

¹*Воронежский государственный университет, Воронеж
+79081303128, kosireva1994.94@mail.ru*

Задачи исследования - определить режимы обработки аморфного сплава для получения оптимальных механических свойств. Частичная кристаллизация АС - путь создания композитов, состоящих из аморфной и кристаллической фаз, особого класса материалов, со свойствами отличными и от аморфных, и от кристаллических составляющих [1]. Преимущество кратковременной ФО: ускорение процесса синтеза, снижение температурных порогов образования фаз, их более высокая дисперсность, обусловленная скоростью их зарождения [2].

Аморфный сплав состава (Al-85, Ni-10, La-5 ат. %) получали в виде лент шириной 3 мм и толщиной 30 мкм. Кристаллизацию сплава активировали ФО излучением ксеноновых ламп ($\lambda=0,2-1,2$ мкм) в вакууме при дозе энергии поступающей на образец излучения $D=5, 10, 15, 20, 25$ Дж/см² (время обработки 0,25, 0,5, 0,75, 1,5 с соответственно) на установке УОЛ.П-1М и термической обработки ТО в вакууме при $t=100-430$ °С в течении 10 мин. Фазовые превращения в сплаве исследовали методом рентгеновской дифрактометрии на приборе Arlx'Tra.

Кристаллизация сплава происходит по эвтектическому механизму, ее начальная стадия проявляется при $D=15$ Дж/см² или 150 °С. В обоих случаях образуются La_3Al_{11} , Al_3Ni , α - твердый раствор на основе Al и в малом количестве метастабильная кристаллическая фаза (исчезает при $D=20$ Дж/см² или $t=200$ °С).

Увеличение температуры отжига при ТО и D при ФО не приводит к изменению фазового состава, увеличивается доля кристаллических фаз и средний размер ОКР, сохраняется около 10 мас. % аморфной фазы.

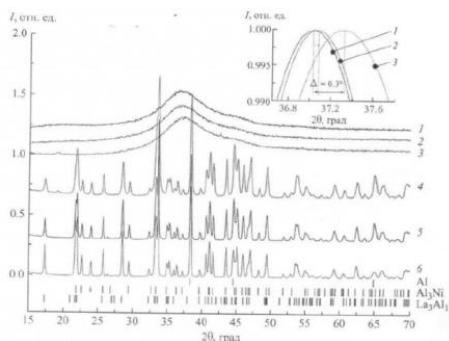


Рис. 1. Дифрактограммы сплава $\text{Al}_{85}\text{Ni}_{10}\text{La}_5$ исходного (1) и прошедших ФО при D , Дж/см² 5(2), 10(3), 15(4), 20(5), 25(6).

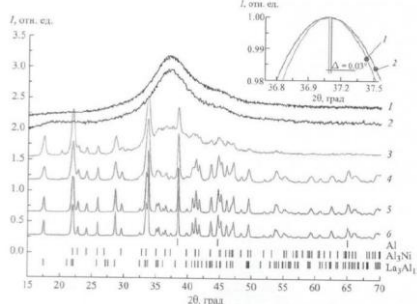


Рис. 2. Дифрактограммы сплава $\text{Al}_{85}\text{Ni}_{10}\text{La}_5$ исходного (1), прошедшего ТО в течение 10 минут t , °C: 100(2), 150(3), 175(4), 200(5), 430(6).

Полученные результаты свидетельствуют о большей эффективности ФО: при одинаковых фазовом составе и содержании кристаллических фаз время обработки меньше, более чем на два порядка величины.

Литература

1. Глезер А.М., Шурыгина Н.А. Аморфно-нано-кристаллические сплавы. М: Физматлит, С 452 (2013).
2. Иевлев В.М. Активация твердофазных процессов излучением газоразрядных ламп. Успехи химии. Т2 №9, С 815-834 (2013).

ГЕНЕРАЦИЯ СИЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ИЗОГНУТЫХ МИШЕНЯХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИНТЕНСИВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ ПИКОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Кочетков Ю.В.¹, Корнеев Ф.А.¹, Степанищев В.В.¹,
J. J. Santos.², M. Ehret², Abe Y.³, F. K. Law³

¹ НИЯУ МИФИ, Москва

² Université de Bordeaux

³ Osaka University

+79060399064, greydrago@mail.ru

Генерация магнитного поля в плазме позволяет управлять различными процессами, включая генерацию высокоэнергетических частиц, излучения, взаимодействие замагниченных плазменных потоков. Для получения сильного и сверхсильного поля известно несколько методов, среди которых особенно привлекательными являются оптические методы, то есть генерация с помощью лазерного излучения. Один из таких методов был недавно предложен в работе [1]. При этом, согласно теоретическим оценкам, при доступных параметрах лазерных импульсов, величина магнитного поля может достигать десятков килотесла. Согласно оценкам, время жизни данного магнитного поля может достигать десятков пикосекунд, что делает его чрезвычайно интересным для разных применений.

Данное исследование, проведенное на базе установки PHELIX (GSI, Германия), было направлено на определение основных параметров магнитного поля в геометрии, предложенной в работе [1], его структуры и временной эволюции. В эксперименте применялось несколько методов диагностики плазмы, в том числе регистрация отклонения пучка диагностических протонов, интерферометрии и поляриметрии.

Метод протонной радиографии был реализован путем пропускания через область мишени пробного пучка лазерно-ускоренных протонов при фокусировании мощного лазерного излучения на поверхности тонкой фольги (Рис.1). Была использована микросетка

для отслеживания структуры полей по её отображению на радио-хромных плёнках. При этом, поскольку пробег протонов в веществе сильно зависит от их энергии, использование нескольких плёнок позволило реализовать в одном выстреле несколько измерений полей в различные моменты времени. Другие методы позволили получить более подробное описание процессов, происходящих при взаимодействии. Метод поляриметрии был использован для регистрации магнитного поля в полости мишени, заполненной абляционной плазмой, за счёт поворота плоскости поляризации излучения из-за эффекта Фарадея. Для определения оптического пути при этом применялась интерферометрия.

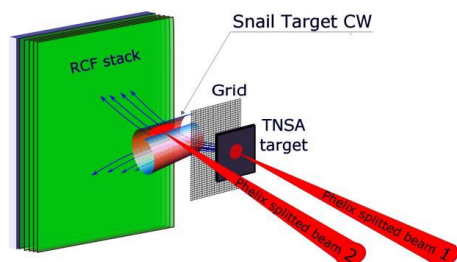


Рис.1. Схема протонной дефлектометрии в эксперименте.

Согласно предварительному анализу полученных данных, в мишени генерируется дипольное магнитное поле, замороженное в абляционную плазму, в соответствии с теоретическими предсказаниями. Этот результат был проверен с помощью поворота мишени вокруг горизонтальной оси на 180 градусов. Параметры замагниченной структуры в целом соответствуют теоретическим оценкам.

Таким образом, впервые продемонстрирован новый метод оптической генерации мощного магнитного поля, замороженного в плазму с плотностью порядка критической.

Литература

1. Ph. Korneev, E. d'Humières, and V. Tikhonchuk. Gigagauss-scale quasistatic magnetic field generation in a snail-shaped target. Phys. Rev. E. Vol.91. P.043107 (2015).

ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕ- ЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ РАСПЫЛЕННОГО ТОПЛИВА

Куликов В.С.¹, Диденко А.А.¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени ака-
демика С.П. Королева, Самара
89063444470, vic.kulikov@bk.ru

Для изучения характеристик мелкости капель распыленного топлива широко применяются бесконтактные методы измерения. Одним из таких методов является оптический интегральный метод малоуглового дифракционного рассеяния монохроматического излучения (ИММР).

Метод ИММР основан на использовании явления дифракции света на сферических частицах и каплях жидкости, оптически крупных по сравнению с длиной волны света, при этом освещается большая их совокупность. Метод позволяет из измеренного распределения интенсивности дифракционно рассеянного света, $I_n(\theta_j)$ – индикатрисы рассеяния, определить гистограмму (функцию) распределения капель по диаметрам, и далее, средний диаметр капель (СДК) [1].

Для результативного применения данного метода исследователь должен уметь решать прямую задачу – рассчитывать или точно измерять индикатрису рассеяния $I_n(\theta_j)$ (1)

$$\bar{I}_N(\theta_j) = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^4 \left[\frac{2J_1(\rho_i \theta_j)}{(\rho_i \theta_j)} \right]^2 f(D_i) \Delta D_i}{\sum_{i=1}^n D_i^4 f(D_i) \Delta D_i}, \quad (1)$$

и тем или иным способом решать обратную задачу – по найденной $I_n(\theta_j)$ рассчитывать $f(D)$ и СДК, используя тот или иной математический метод.

В данной работе для расчетов $f(D)$ и СДК используется один из наиболее известных интегральных методов решения обратной задачи – метод К.С. Шифрина.

Данный метод является наиболее простым из известных в плане приборной реализации (рис.1).

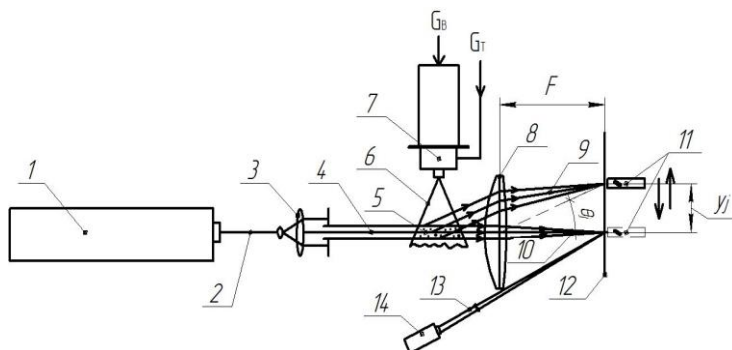


Рис.1. Оптическая схема лазерного измерителя мелкости капель: 1 - He-Ne-лазер непрерывного излучения с длиной волны $\lambda = 0,6328$ мкм; 2 - пучок света мощностью 10...50 мВт диаметром 1,5...2 мм; 3 - блок оптических деталей; 4 - пучок с равномерным распределением интенсивности в поперечном сечении диаметром 10 мм; 5 - капли топлива, освещенные пучком света; 6 - факел распыла топлива, 7 - форсунка; 8 - большая собирающая линза; 9 - продифрагировавший на каплях свет; 10 - свет, проходящий без дифракции; 11 - перемещаемый фотоприемник (ФЭУ); 12 - фокальная плоскость; 13 - лазерное излучение; 14 - оптическая ловушка измерителя мощности лазерного излучения ИМО-2Н, для измерения величины полного светового потока

В работе для некоторых модельных вариантов $f(D)$ рассчитываются значения интенсивностей рассеянного света, которые наблюдаются в фокальной плоскости 12 (рис.1). Затем в полученные распределения $I_n(\theta_j)$ вносятся искажения – на них накладываются предполагаемые систематические и ожидаемые случайные ошибки оптических измерений. Далее методом К.С. Шифрина решается обратная задача и найденные $f'(D)$ и СДК' сравниваются с предварительно заданными. Таким образом отлаживается методика обработки результатов.

Литература

1. А.А. Диденко, В.В. Бирюк, С.В. Лукачев, С.Г. Матвеев. Лазерно-оптические методы диагностики процессов горения (Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006.).

АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ФАЗЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА L_{5-7}

Куржумбаев Д.Ж.¹, Грешняков В.А.¹

¹ Челябинский государственный университет, Челябинск
+7(919)312-10-03, kurzhumbaev.dzh@protonmail.com

К настоящему времени проведен исчерпывающий анализ структур полупроводниковых алмазоподобных фаз, полученных на основе обычного графена [1]. Однако наименее изученными являются особенности формирования алмазоподобных фаз из нового двумерного нанопредшественника – графена L_{5-7} , поверхность которого сформирована из пяти- и семиугольных углеродных колец. Поэтому в данной работе проведено модельное исследование структуры и свойств новых алмазоподобных фаз, получающихся в результате сшивки графеновых слоев L_{5-7} по методике из работ [2, 3].

В результате расчетов полуэмпирическим методом PM3 установлены структуры трех новых алмазоподобных фаз (рис. 1) и некоторые свойства (таблица 1). Установлено, что элементарные ячейки фаз $LA1_{5-7}$ и $LA2_{5-7}$ относятся к моноклинной сингонии, элементарная ячейка фазы $LA3_{5-7}$ принадлежит ромбической сингонии. Структуры фаз $LA1_{5-7}$ и $LA2_{5-7}$ характеризуются четырьмя различными кристаллографически неэквивалентными позициями, тогда как структура фазы $LA3_{5-7}$ характеризуются тремя неэквивалентными позициями. Рассчитанные плотности (ρ) фаз изменяются в диапазоне значений от 3.009 до 3.427 г/см³. Самой плотной является моноклинная фаза $LA1_{5-7}$, так как ее плотность меньше соответствующей плотности кубического алмаза на 3 %. Наиболее устойчивой является фаза $LA1_{5-7}$, так как ее средняя энергия связи ($\langle E_{C-C} \rangle$) только на 2.7 % больше соответствующей энергии для кубического алмаза. Наименее устойчивая орторомбическая фаза $LA3_{5-7}$ имеет $\langle E_{C-C} \rangle$ на 4.5 % больше $\langle E_{C-C} \rangle$ алмаза. Установлено, что величина энергии связи коррелирует с величиной плотности алмазоподобной фазы.

Авторы благодарят Фонд перспективных научных исследований ЧелГУ за финансовую поддержку исследования.

Таблица 1. Структурные характеристики и свойства алмазоподобных фаз

Фаза	Сингония	a, Å	b, Å	c, Å	γ , °	Z, ат.	ρ , г/см ³	$\langle E_{c-c} \rangle$, ккал/моль
LA1 ₅₋₇	М	4.658	4.246	5.934	52.5	16	3.427	-81.31
LA2 ₅₋₇	М	4.841	5.965	4.243	52.2	16	3.009	-81.01
LA3 ₅₋₇	Р	7.599	5.947	4.332	90.0	32	3.262	-79.86

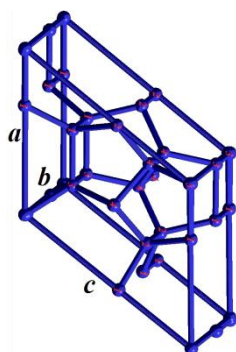
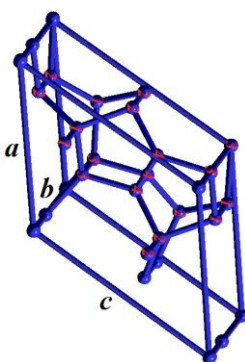
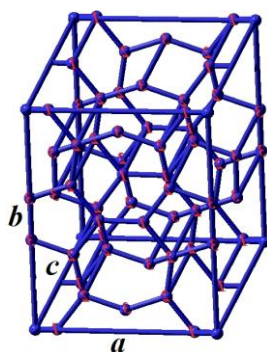
LA1₅₋₇LA2₅₋₇LA3₅₋₇

Рис.1. Кристаллические структуры алмазоподобных фаз

Литература

1. Е.А. Беленков, В.А. Грешняков. Структура, свойства и возможные механизмы формирования алмазоподобных фаз. ФТТ. Т. 58. №1. С. 116-122 (2016).
2. Е.А. Беленков, В.А. Грешняков. Новые структурные модификации алмаза: LA9, LA10, CA12. ЖЭТФ. Т. 146. № 1. С. 116-122 (2014).
3. Е.А. Беленков, В.А. Грешняков. Структура и некоторые физико-химические свойства углеродной и кремниевой фаз с алмазоподобной решеткой LA3. ЖСХ. Т. 57. № 5. С. 932-939 (2016).

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ ($\lambda = 630\div 650$ нм) НА ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ

Лазарев Н.О., Мармалюк А.А.

НИЯУ МИФИ, Москва, АО «НИИ «ПОЛЮС» ИМ. М.Ф.СТЕЛЬМАХА»
+79853068404, lazareffnikit@yandex.ru

Главной задачей создания эффективных полупроводниковых лазеров является повышение выходных характеристик лазеров.

С учетом необходимости соответствия ширины запрещенной зоны полупроводников заданному спектральному диапазону выбор материала останавливается на системах тройных и четверных твердых растворов $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_0.5\text{In}_{0.5}\text{P}$, который по параметру кристаллической решетки совпадает с GaAs. Энергия оптического перехода для напряженных и не напряженных квантовых ям $\text{Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ соответствует заданному спектральному диапазону 630-650 нм.

Были выращены образцы на основе гетероструктур с активной областью $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_0.5\text{In}_{0.5}\text{P}/\text{Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ и были сделаны соответствующие лазерные диоды.

Исследование проводилось двух типов гетероструктур, с одной квантовой ямой и с двумя.

Были получены различные данные, такие как максимальная выходная мощность излучения, квантовая эффективность, значения порогового тока и его плотности, различные коэффициенты отражения зеркал, уровень легирования, величина последовательного сопротивления и проведен анализ этих данных.

Из полученных данных можно сделать вывод, что максимальная мощность на выходе излучения и значение порогового тока накачки зависят от уровня легирования в эмиттере (рис.1).

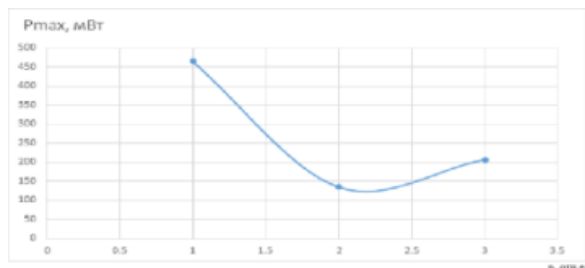


Рис.1. График зависимости максимальной выходной мощности излучения P_{max} (мВт) от уровня легирования эмиттере (отн.ед.).

Также было проведено исследование изменения величины последовательного сопротивления от уровня легирования в эмиттере для разных значений ширины полоска контакта. Из построенного графика (рис. 2) видно, что оптимальное среднее значение величины последовательного сопротивления наблюдается при уровне легирования $(3 \div 5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ для ширины полоска 4 мкм.

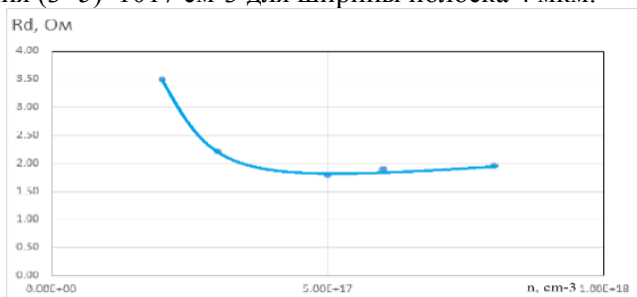


Рис 4. Зависимость сопротивления R_d от величины легирования в эмиттере для ширины полоска 4 мкм.

Анализируя полученные данные по квантовой эффективности, можно построить графики зависимостей квантовой эффективности от уровня легирования, проникающего в волновод для ширины полоска $w=4$ разных типов травления: химическое и ионное.

η , Вт/А



n, см-3

Рис. 5. Зависимость квантовой эффективности (η , Вт/А) от уровня легирования на границе волновода (n, см-3). Тип травления контактов: химический(синий), ионный(оранжевый). Ширина полоска $w=4$ мкм.

Литература

1. Звелто О. Принципы работы лазеров (1990).
2. И. С. Тарасов, Квант. электрон., том 40, номер 8, 661–681(2010).
3. Makoto Kondo, Kay Domen, Chikashi Anayama, Toshiyuki Tanahashi and Kazuo Nakajima, Journal of Crystal Growth, 107, 578—582(1991).
4. D.P. Bour, D.W. Treat, R.L. Thornton, T.L. Paoli, R.D. Bringans, B.S. Krusor, Journal of crystal growth, 124, 751—756(1992).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ЖИДКОСТИ

Леушка М.А., Гайсин Ал.Ф.

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет
(КАИ), г. Казань
+79047690516, marina-leushka@mail.ru

В течение последних двух десятилетий неравновесные плазмы атмосферного (или выше) давления в жидкостях и контактирующие с жидкостями привлекли внимание исследователей ввиду их довольно широких применений, связанных с защитой окружающей среды и медициной. Генерирование интенсивного УФ излучения, ударных волн и активных радикалов делает эти разряды особенно пригодными для очистки от загрязнений (в том числе, воды), стерилизации и очистки поверхностей [1]. В связи с этим интерес исследователей привлекают различные виды разрядов – коронный разряд над поверхностью раствора, тлеющий разряд, импульсный стримерный разряд в жидкости, диэлектрический барьерный разряд [2].

Диэлектрический барьерный разряд – источник плазмы, возникшей при помещении диэлектрика между двумя электродами [3].

В работе представлены результаты исследования диэлектрического импульсного барьерного разряда. В качестве диэлектрика была использована резина, разряд зажигался в электролите (техническая вода 20% NaCl). На рисунке 1 изображена принципиальная схема экспериментальной установки. Область горения разряда – 10 мм между диэлектриком и электродом при высоком импульсном напряжении около 1 кВ и частотой 13,56 МГц. В этой области при горении плазмы активно генерируются такие окислители, как OH, H₂O₂, O₃, O.

В области обработки материалов диэлектрический барьерный разряд нашел своё применение в активации поверхностей из пластика перед дальнейших манипуляций с ними (резка, скрепление, печать, очистка от загрязнений и др.).

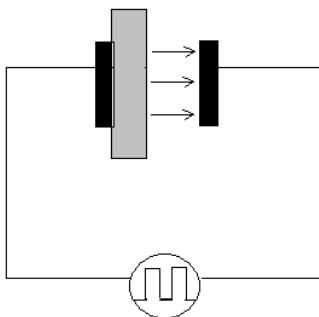


Рис.1. Экспериментальная схема зажигания диэлектрического барьерного разряда (чёрным цветом изображены электроды, серым – диэлектрик)

В результате исследования были получены вольт-амперные характеристики горения разряда, исследован процесс развития поверхностного барьерного разряда, изучены характеристики поверхности после воздействия плазмы.

Литература

1. Bruggeman, P., & Leys, C. (2009). Non-thermal plasmas in and in contact with liquids. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42(5), [053001]. DOI: 10.1088/0022-3727/42/5/0530012
2. E. S. Bobkova, Ya. V. Khodor, O. N. Kornilova, and V. V. Rybkin. Chemical Composition of Plasma of Dielectric Barrier Discharge at Atmospheric Pressure with a Liquid Electrode. ISSN 0018151X, *High Temperature*, 2014, Vol. 52, No. 4, pp. 511–517. © Pleiades Publishing, Ltd., 2014
3. Ronny Brandenburg. Dielectric barrier discharges: progress on plasma sources and on the understanding of regimes and single filaments. *Plasma Sources Sci. Technol.* 26 (2017) 053001 (29pp)

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В НАНОСТРУКТУРИРОВАННОМ ЭВТЕКТИЧЕСКОМ СПЛАВЕ Ga-Ag

Лихолетова М.В., Лезова И.Е, Шевченко Е.В, Мальцева Л.А.

*Физический факультет СПбГУ, г. Санкт-Петербург
89111379538, marinalikholetova@yahoo.com*

В последнее время большое внимание уделяется сверхпроводимости в наноструктурированных металлах и сплавах в связи с возможностью исследовать уникальные особенности систем пониженной размерности. Одним из способов получения наноструктурированных металлов и сплавов является введение их в нанопористые матрицы. Свойства ряда чистых металлов в сверхпроводящем состоянии в условиях наноконфайнмента изучались ранее [1], тогда как сверхпроводимость наноструктурированных эвтектических сплавов практически не рассматривалась.

В настоящей работе в качестве объекта исследования было выбрано пористое стекло, заполненное эвтектическим сплавом Ga-Ag. Средний размер пор равнялся 7 нм. Расплав Ga-Ag вводился в поры под высоким давлением.

Проводились исследования DC и AC намагниченности в диапазоне температур 1.9 - 10 К в магнитных полях от 0 до 9 Т. Для измерений использовались вибрационный СКВИД магнитометр MPMS3 и PPMS-9 Evercool 2 производства Quantum Design. При измерении AC намагниченности исследовались также зависимости от амплитуды переменного поля и от частоты в диапазоне от 90 Гц до 7 кГц.

Были получены температурные зависимости вещественной χ' и мнимой χ'' частей AC восприимчивости для различных смещающих магнитных полей (рис.1). По частотной зависимости положения пиков χ'' были рассчитаны величины энергии активации, соответствующие термоактивационной природе движения сверхпроводящих вихрей. Выявлено также сильное влияние амплитуды AC полей на ход кривых χ' и χ'' .

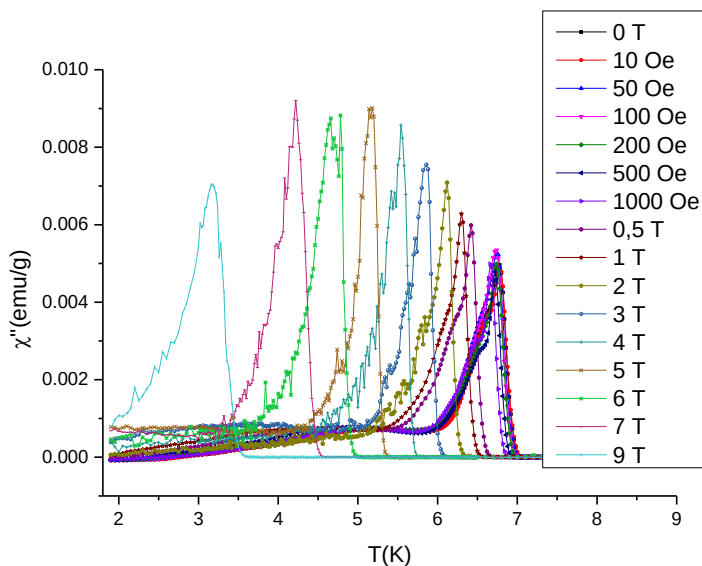


Рис.1 Температурная зависимость мнимой части АС восприимчивости в диапазоне полей 0-9 Т при частоте 1 kHz и амплитуде $H_{AC}=1$ Oe

Полученные результаты для DC и АС намагниченности были использованы для построения фазовой диаграммы исследуемого образца в сверхпроводящем состоянии, которая включала линии верхнего критического поля H_{c2} , температуры необратимости T_{irr} , положения пика мнимой части намагниченности T_p , установления сверхпроводимости по данным АС намагниченности. Выявлена аномально высокая температура сверхпроводящего перехода, обусловленная изменением структуры кристаллической фазы, обогащенной галлием.

Литература

1.М. К. Lee, E. V. Charnaya, Cheng Tien, L. J. Chang, and Yu. A. Kumzerov. Ac susceptibility studies of a superconducting gallium nanocomposite: Crossover in the upper critical field line and activation barriers. Journal of Applied Physics 113, 113903 (2013).

ВАРИАЦИОННОЕ КЛАСТЕРНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ И ТОЧНАЯ ДИАГОНАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА МОДЕЛЕЙ ХАББАРДА

Лукьянов А.Е., Неверов В.Д., Жумагулов Я.В., Красавин А.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва
тел. +7 964 5561551, e-mail: lukyanov9567@gmail.com*

Вариационное кластерное приближение [1] позволяет исследовать довольно широкий диапазон различных сильнокоррелированных электронных систем. В данной работе представлена реализация с открытым исходным кодом [2] вариационного кластерного приближения совместно с методом точной диагонализации для исследования решеточных моделей типа Хаббарда. Метод работает следующим образом:

- 1) для конечного изолированного кластера, моделирующего часть решеточного базиса системы, составляется матрица гамильтониана в фоксовском базисе, и производится диагонализация для определения основного состояния;
- 2) далее рассчитывается одночастичная функция Грина кластера в лемановском представлении с помощью блочного алгоритма Ланцоша;
- 3) из полученной функции Грина кластера и матрицы одночастичных возмущений, составленной из межкластерной части гамильтониана, составляется функция Грина всей решетки в соответствии с сильнокоррелированной теорией возмущений [1];
- 4) для коррекции нарушения трансляционной симметрии применяется периодизация полученной функции Грина всей решетки;
- 5) далее для расчета большого термодинамического потенциала всей решетки используется функционал Поттхофа, который учитывает большой термодинамический потенциал отдельного кластера, функцию Грина отдельного кластера и матрицу межкластерной части гамильтониана;
- 6) для получения фазовой диаграммы системы производится поиск стационарных точек большого термодинамического потенциала

всей решетки в зависимости от параметров порядка системы с помощью метода Нелдера – Мида [3], которые соответствуют определенному фазовому состоянию системы.

На рис. 1 показан пример определения фазового состояния системы для двумерной модели Хаббарда.

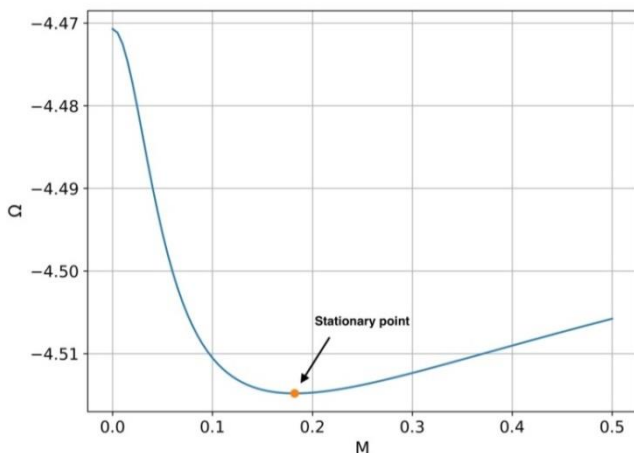


Рис. 1. Зависимость большого термодинамического потенциала от параметра антиферромагнитного упорядочения для двумерной модели Хаббарда при половинном заполнении и параметре взаимодействия $U/t=8$. Красной точкой обозначена стационарная точка функционала Поттхофа, соответствующая наличию антиферромагнитного упорядочения системы

Литература

1. Potthoff M., Aichhorn M., Dahnken C., Phys. Rev. Lett., 91, 206402 (2003).
2. <https://github.com/yaros72/pyed>
3. Nelder J.A., Mead R., Computer Journal, 7, 308-313 (1965).

СОЗДАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА РАДИАЛЬНОГО СДВИГА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОЛНОВОГО ФРОНТА ЛА- ЗЕРНОГО ПУЧКА

Майоров А.А., Лукьянов К.С., Губский К.Л.

НИЯУ МИФИ, Москва

+79651814310, mister.maiorov@gmail.com

Современные лазерные системы способны создавать излучение сверхвысокой интенсивности. При достижении таких мощностей необходимо увеличивать апертуру лазерного пучка, чтобы предотвратить механические повреждения самим пучком и избежать пагубных воздействий, возникающих из-за нелинейности показателя преломления при высоких интенсивностях излучения.

Использование лазерных пучков большого поперечного диаметра естественным образом влечет за собой использование оптических элементов сопоставимых размеров, что в свою очередь, очень часто, является источником аберраций волнового фронта. [1]

Каждый элемент оптической системы вносит искажения в форму волнового фронта. Как следствие, задача обеспечения качества волнового фронта на выходе оптического тракта, необходимого при фокусировке излучения на мишень, крайне важна. Поэтому возникает необходимость контроля формы волновых фронтов отдельных частей и всей оптической системы, с целью последующей их оптимизации. [2]

Для выполнения функции контроля качества волнового фронта поставлена задача создания интерферометра радиального сдвига. Для этих целей разрабатывается интерферометр предназначен для работы с пучком лазерного излучения размером 20x20 мм с разрешением по амплитуде <20 нм при пространственном разрешении <20 мкм.

Работоспособность данного интерферометра должна:

- обеспечиваться на двух длинах волн (527 и 1054 нм.); предусматривается возможность дискретного задания кратности телескопической системы (кратность линз устанавливается равной 1:4 и 1:4,5 по выбору оператора и для 2-х длин волн);

- обеспечивать равенство плотностей энергии пучков на системе регистрации для кратности линз телескопа Интерферометра 1:4;
- согласовывать по величине энергии и поляризации излучения, входящего в интерферометрическую схему достигается использованием полуволновых пластин.

По итогам исследовательской работы был произведен анализ, на основании которого сформулированы основные требования к компоновке измерительного комплекса, и выявлены критические позиции в схмотехнических решениях. В последствии, собрана оптическая схема интерферометра радиального сдвига. В настоящее время производится юстировка всего комплекса.

Литература

1. Интерферометрическое исследование волнового фронта излучения установки “ЛУЧ” © 2011 г. О. А. Бучирин, И. Н. Деркач, А. А. Еремин, Л. В. Львов, С. А. Сухарев, И. Е. Чернов
2. Malacara D. Mathematical Interpretation of Radial Shearing Interferometers.—Appl. Opt., 13, 1781 (1974).

УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ С НЕЛИНЕЙНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПЛОТНОСТИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Маркушин М.А.¹, Колтаков В.А.¹, Ивлиев Н.А.^{1,2}

¹ Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, Самара

² Институт систем обработки изображений РАН, Самара
+7927906021, markushin_max@mail.ru

Направленные потоки низкотемпературной плазмы находят широкое применение в микро- и нанoeлектронике, дифракционной оптике, нанофотонике при создании современной электронной и оптической компонентной баз [1]. Существуют также задачи формирования микро- и наноразмерного структурирования на криволинейных поверхностях [2, 3]. Такие структуры необходимы, например, при изготовлении микроэлектромеханических систем или дифракционных корректоров аберраций, используемых при проектировании высокоэффективных компактных объективов [3]. При формировании в низкотемпературной плазме микро- и нанорельефа на криволинейных поверхностях необходима равномерная обработка поверхности с отсутствием зависимости от угла её наклона. Известные газоразрядные устройства [4, 5] с плоской конструкцией электродов формируют поток газоразрядной плазмы с равномерным распределением частиц по его сечению. В связи с этим предлагается устройство, формирующее направленный поток низкотемпературной плазмы с синусоидальным распределением плотности частиц по сечению, (фокусатор газоразрядной плазмы), внешний вид которого представлен на рис. 1.

Формирование потока газоразрядной плазмы за пределами электродов устройства так же, как и в случаях, рассмотренных в работах [4, 5], устранило зависимость ее параметров от площади обрабатываемой поверхности.

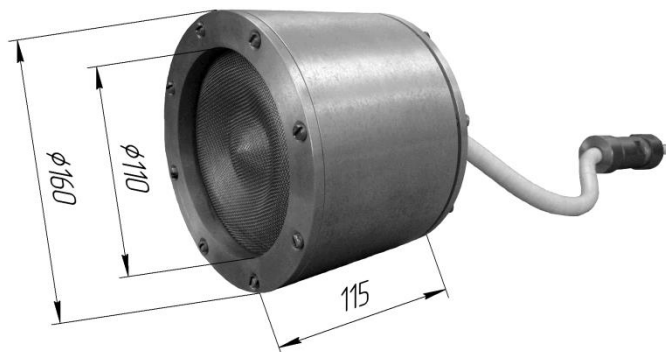


Рис. 1. Внешний вид фокусатора газоразрядной низкотемпературной плазмы (размеры указаны в мм)

Анализ зависимостей распределения плотности тока по поперечному сечению потока плазмы показывает, что изменяя расстояние между подложкой и катодом, можно получать потоки плазмы на обрабатываемую криволинейную поверхность с необходимым распределением плотности тока.

Литература

1. Ed. by V. A. Soifer. Diffractional nanophotonics. (London: Taylor and Francis. 2014).
2. C.D. Petruczok, K.K. Gleason. Initiated Chemical Vapor Deposition-Based Method for Patterning Polymer and Metal Microstructures on Curved Substrates. *Advanced Materials*. Vol. 24. Issue 48. P. 6445–6450 (2012).
3. G.I. Greisukh, S.T. Bobrov, S.A. Stepanov. Optics of Diffractional and Gradient-Index Elements and Systems. (Bellingham, WA: SPIE PRESS. 1997).
4. В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский. Генератор широкоапертурного потока газоразрядной плазмы. *Приборы и техника эксперимента*. № 2. С. 60 (2014).
5. В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский. Многолучевой генератор газоразрядной плазмы. *Приборы и техника эксперимента*. № 5. С. 108 (2015).

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЦИНКА НА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ СТАННАТА КАЛЬЦИЯ, АКТИВИРОВАННОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

Марьина У.А., Марьин А.П., Воробьев В.А.

*Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь
8-919-736-83-05, ulyana-ne@mail.ru*

Инфракрасные люминофоры, излучающие в области 1500–2100 нм, находят широкое применение в современных оптических преобразователях, защитных метках, в качестве активных сред для лазеров различного назначения (медицинская техника, оптоволоконные линии связи, лидарные установки и т.д.). Исследование свойств CaSnO_3 [1] показало, что при легировании его ионами редкоземельных металлов Yb^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} , Ho^{3+} наблюдаются полосы люминесценции с длиной волны 996 нм, 1550 нм, 1780 нм, 2000 нм. В связи с этим, улучшение свойств люминофоров на основе CaSnO_3 , в частности повышение интенсивности их люминесценции в области 1500–2100, является актуальной научной задачей.

Для исследования были выбраны две люминесцентные системы $(\text{Ca}_{0,923}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Ho}_{0,007})\text{SnO}_3$, $(\text{Ca}_{0,927}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Tm}_{0,003})\text{SnO}_3$, показавшие наилучший результат при исследовании концентрационных серий ИК-люминофоров на основе станната кальция [2]. В качестве дополнительной примеси использовался оксид цинка ZnO , при этом Zn^{2+} вводили в концентрации от 0,1 до 1 атомных долей вместо ионов Sn^{4+} . Выбор данной примеси обусловлен близостью размеров ионных радиусов цинка и олова.

Установлено, что введение в указанные выше структуры ионов Zn^{2+} вызывает гашение люминесценции этих структур в области 400–1600 нм, которое усиливается с ростом концентрации цинка. Это объясняется поглотательной способностью ионов Zn^{2+} в этом диапазоне. В полосах 1950 нм (Ho^{3+}) и 1780 нм (Tm^{3+}) наблюдается усиление люминесценции при концентрации ионов Zn^{2+} 0,6–0,8 атомных долей. Для системы $(\text{Ca}_{0,923}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Ho}_{0,007})(\text{Sn}_{1-x}\text{Zn}_x)\text{O}_3$ наибольшее усиление интенсивности люминесценции в полосе 1950 нм наблюдается при концентрации ионов Zn^{2+} 0,7 атомных

долей (рис.1), для системы $(\text{Ca}_{0,927}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Tm}_{0,003})(\text{Sn}_{1-x}\text{Zn}_x)\text{O}_3$ в полосе 1780 нм усиление наблюдается при концентрации ионов Zn^{2+} 0,6 атомных долей.

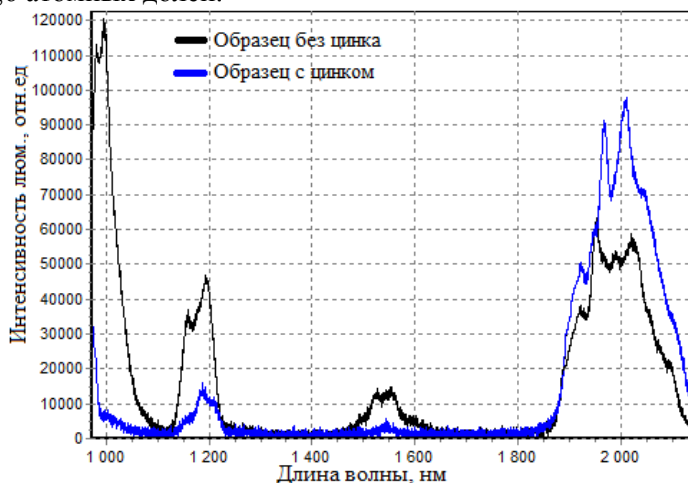


Рис.1. Спектр люминесценции $(\text{Ca}_{0,923}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Ho}_{0,007})\text{SnO}_3$ и $(\text{Ca}_{0,923}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Ho}_{0,007})(\text{Sn}_{0,3}\text{Zn}_{0,7})\text{O}_3$ при возбуждении лазером с длиной волны 960 нм

Результаты исследований имеют практическую значимость, поскольку могут использоваться для повышения функциональных характеристик ИК-люминофоров на основе станната кальция.

Литература

1. У.А. Марьина. Исследование люминесцентных свойств станната кальция, активированного ионами редкоземельных металлов. Современные проблемы физики и технологии: VI Межд. молодежная научная школа-конф., посв. 75-летию НИЯУ МИФИ и 95-летию академика Н.Г. Басова, Москва, с. 143-144. (2017).
2. У.А. Марьина. Разработка технологии синтеза и исследование люминофоров на основе CaSnO_3 , BaSnO_3 , SrSnO_3 , активированных редкоземельными ионами: автореф. дис... канд. тех. наук: 05.27.06 / Марьина Ульяна Андреевна. Новочеркасск. 24 с. (2017).

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Масленникова И.С.¹, Серебрякова А.С.², Масленников С.П.¹

¹ НИЯУ МИФИ, Москва

² АО “НПП “Торий”, Москва

(495)788-56-99 доб.92-65, maslennira@yandex.ru

Генераторы высоковольтных импульсов применяются при решении широкого круга задач современной техники, промышленности, медицины, прикладной и фундаментальной науки. Широкие перспективы в области создания новых типов генераторов с улучшенными ресурсными, энергетическими и массогабаритными характеристиками открываются при использовании для их построения современных полупроводниковых элементов.

Переключение выходных каскадов в импульсных генераторах при напряжениях до нескольких десятков киловольт может осуществляться с помощью составных коммутаторов, построенных на основе последовательно и параллельно соединенных транзисторных модулей.

В данной работе представлены результаты исследований, направленных на разработку коммутаторов на основе МОП-транзисторов и создание на их основе генераторов высоковольтных импульсов микросекундной длительности..

Составные высоковольтные коммутаторы построены на основе цепочки последовательно соединенных транзисторных модулей, каждый из которых включает в себе собственную схему управления и силовой транзистор [1,2]. Коммутаторы обладают наносекундными временами переключения при рабочих напряжениях до 10 кВ и импульсных токах до 12 А

Одновременное переключение транзисторных модулей происходит под действием разнополярных наносекундных импульсов управления, которые одновременно передаются на модули через импульсные трансформаторы тока, что обеспечивает гальваническую развязку на полное рабочее напряжение между цепью управления и силовой частью коммутаторов. В транзисторных модулях

применялись схемы управления с униполярным и биполярным режимами работы [2].

Экспериментальные исследования показали, что составные коммутаторы с использованием транзисторных модулей обоих типов устойчиво переключаются в диапазоне длительностей импульсов от 1 мкс до 0.5 мс при рабочих напряжениях до 10 кВ и сопротивлениях нагрузок в диапазоне 1–15 кОм. Собственные времена переключения коммутаторов не превышают 50 нс. В то же время при использовании высокоомных нагрузок ($>10^4$ – 10^5 Ом) условия устойчивого запираания сохранялись для коммутаторов с биполярным режимом управления.

Разработанный генератор высоковольтных импульсов построен по одноконтурной схеме с частичным разрядом накопительной емкости, в выходном каскаде генератора использован коммутатор с биполярным режимом управления.

Испытания генератора были проведены с использованием эквивалентных резистивных и резистивно-емкостных нагрузок, которые моделировали условия работы генератора в составе импульсной радиоэлектронной аппаратуры, в частности, в системах управления мощными СВЧ приборами.

В результате испытаний генератора была продемонстрирована стабильность его работы в диапазоне длительностей импульсов от 1 мкс до 0.5 мс при амплитудных напряжениях до 10 кВ и сопротивлениях нагрузок в пределах 10^3 – 10^7 Ом.

Литература

1. Масленников С.П., Серебрякова А.С. Высоковольтные твердотельные коммутаторы на последовательно соединенных МОП-транзисторах. Вестник Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”, 2017, Т.6, №2, С. 161–166.
2. Масленников С.П., Серебрякова А.С. Высоковольтные твердотельные коммутаторы для сеточных модуляторов мощных СВЧ приборов. Радиотехника и электроника. 2018. Т. 63. № 1. С. 71-74

СОВРЕМЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМАТРОНОВ

Мацкевич С.С.¹, Гостев А.В.¹, Ахатов М.Ф.¹

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань
8937-583-83-31, matskevich56@inbox.ru

Технологии с применением плазмы в последнее время набирают все большие обороты. На сегодняшний день она активно используется в промышленности для напыления тугоплавких металлов, сварки, наплавки, плавки, резки, упрочнения, плазменном точении и нагреве. Для создания плазмы в середине 20-го века были разработаны специальные приборы, получившие название плазматрон. Его появление связано с необходимостью в источниках тепла с большой мощностью и появлением тугоплавких металлов. Плазматрон - устройство для генерации низкотемпературной плазмы, методом подачи ионизированного газа, проходящего через электрическую дугу. [1].

Преимуществами использования плазматронов является универсальность, экологичность, высокая производительность, высокое качество реза и безопасность использования. [4]

Из всего многообразия наибольшую область применения получил электродуговой плазматрон. Основными его составляющими являются разрядная камера с электродами, узел подачи вещества, сопло и водоохлаждаемый корпус. Плазматроны, которые работают на дуге прямого действия, имеют наибольший КПД. В результате чего получили максимально широкое распространение в промышленности для резки металла. Использование такого способа называется резкой пламенной дугой. Способ косвенной дуги применяются для резки неметаллического материала и тонколистового металла толщиной до 5 мм. [2] Такое применение получило название резка плазменной струей. Создание плазменной дуги или струи достигается сжатием и стабилизацией дуги. Для охлаждения электрода и плазмообразующего сопла чаще всего используется вода. [3] Электродуговые плазматроны обладают температурой плазмен-

ной струи 3000 - 25000 К, мощностью 10^2 - 10^7 Вт и коэффициентом полезного действия 50-90%.

Однако, несмотря на столь эффективные характеристики данный тип плазматрона обладает рядом недостатков. К таковым относятся сложность конструкции что способствует высокой цене оборудования и работы в целом, малая толщина реза, высокий уровень шума, необходимость качественного и грамотного обслуживания оборудования, маленькие допустимые углы наклона плазматрона. Одним из не менее значимых минусов является частый выход из строя катодного, соплового и узла завихрения рабочего газа [4]. Увеличить срок службы катодного узла можно не только улучшением системы охлаждения, но и увеличением его теплостойкости что в сумме даст значительное увеличение его рабочих часов. Таким образом, электродуговые плазмотроны при устранении всех своих значительных минусов могут быть очень рентабельными и полезными в очень многих видах деятельности. Именно поэтому нужно постоянно стремиться к их улучшениям, одним из которых может быть «поддержание постоянной концентрации частиц активирующего вещества в рабочей зоне катодной вставки независимо от продолжительности работы плазматрона» патент (2336591) [4]. Достигается это тем в катодном узле плазматрона, содержащем катододержатель в закреплённой катодной вставке которая изготовлена из вольфрама имеется полость, с тыльной стороны которой размещено активирующее вещество. Из – за чего концентрация частиц этого вещества будет поддерживаться за счет диффузии частиц из источника активирующего вещества. Благодаря этому можно в разы увеличить количество часов бесперебойной работы плазматрона. В следствии с чем еще больше расширить область его применения.

Литература

1. Клименко Г. К., Ляпин А. А. Конструкции электродуговых плазмотронов.
2. <http://stroy-server.ru/notes/plazmenno-dugovaya-rezka>
3. <https://plasmainfo.ru/technology/416/>
4. *Шавалиев Х.М., Гайсин А.Ф., Андриянов А.И., Ахатов М.Ф.* КАТОДНЫЙ УЗЕЛ ПЛАЗМОТРОНА патент 233659

СИНТЕЗ ТУГОПЛАВКИХ КАРБИДНЫХ, НИТРИДНЫХ И ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ФАЗ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОМ ПОВЕРХНОСТНОМ ЛЕГИРОВАНИИ

Мин Хтет Со, Кузнецова А.П.

*ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва
+7 (903) 167-14-68, minhtetswe52@gmail.com*

В настоящее время известно достаточно много способов модифицирования поверхности широкого круга материалов за счет поверхностного легирования. Здесь наибольшее распространение получили методы химико-термической обработки (ХТО), к которым относятся технологии, связанные с диффузионным насыщением поверхностного слоя. Обычно такие процессы принято проводить, как финишную операцию в технологической цепочке изготовления инструмента за исключением некоторых случаев, когда на поверхность, упрочненную ХТО, наносится износостойкое покрытие [1].

Альтернативой традиционным способам химико-термической обработки может служить создание легированного поверхностного слоя с повышенной износостойкостью с использованием реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), основанного на использовании внутренней энергии химического взаимодействия исходных реагентов.

В основу процесса положена задача надежного интегрирования синтезированного соединения в поверхностный слой изделия путем возбуждения химической реакции между металлами IV–V групп с неметаллами 2-го периода на его поверхности. При этом изделие должно содержать такие неметаллы в своей структуре или быть способным к насыщению ими с образованием твердого раствора или каких-либо неустойчивых соединений. Металл наносится в виде покрытия на поверхность изделия, например, с использованием магнетронного распыления. Затем инициируется реакция самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, осуществляемая в режиме теплового взрыва путем импульсного

нагрева поверхности изделия. В ряде случаев возможно взаимодействие между металлическими фазами основы и покрытия с образованием интерметаллидных фаз.

Литература

1. A. A. Vereschaka, Improvement of working efficiency of cutting tools by modifying its surface properties by application of wear-resistant complexes, Advanced Materials Research, Volume 712-715 (2013), 347-351

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ВОЛОКОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мишина Н.В., Мишина Т.Л., Алыкова О.М., Смирнов В.В.

*Астраханский государственный университет,
e-mail: olga-alykova@mail.ru*

В подавляющем числе научных публикаций применение численных квантовых методов анализа структуры и спектров соединений связано с исследованием адиабатических потенциалов мономеров соединений. Вместе с тем, в реальных условиях эксперимент зачастую осуществляется для конденсированного состояния вещества. Поэтому решение фундаментальной научной проблемы «структура-спектр-свойства» применительно к физике конденсированных состояний требует построения методики использования современных неэмпирических квантовых методов для анализа структуры и динамики молекулярных соединений в различных фазовых состояниях. Обширный численный эксперимент над соединениями различного класса, представленный в монографии [1], прямо указывает на предпочтительность метода функционала плотности DFT/B3LYP [2,3] при анализе адиабатических потенциалов. Однако его формальное применение к анализу колебательных состояний даже простых молекулярных соединений наталкивается на ряд проблем. Поэтому его использование позволяет решить в первую очередь вопросы качественного анализа.

В ходе выполнения магистерского исследования по направлению подготовки 03.04.02 Физика профиль «Физика конденсированного состояния вещества» возникли задачи спектрального исследования текстиля с целью идентификации его происхождения, а также восстановлению воздействий, которым он подвергался; определение составов различных косметических и волоконных материалов, то есть решались вопросы количественного анализа. Для решения этих задач были выбраны методы спектрофотометрии в видимом диапазоне спектра, позволяющие получить общую количественную информацию о цвете образца в виде координат цветно-

сти; инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии), чувствительной к молекулярной структуре и, поэтому позволяющей исследовать химический состав красителей [4].

В качестве аппаратной базы исследования использовались стилоскоп СЛ-13, спектрограф ИСП-28, спектрометр СДЛ-2. В качестве эталонов текстиля использовались образцы известного состава, не подвергавшиеся какому-либо воздействию; в качестве эталонов косметических и волоконных материалов – образцы известного состава. В ходе проведенного исследования было установлено, что различные методы воздействия по-разному сказываются на спектральных свойствах исследуемого материала. Совместное использование ИК и КР спектроскопий позволяет эффективно исследовать, как состав образца, так и последствия светового и теплового воздействия на него. Большой информативностью обладают Рамановские спектры, в то же время этот метод более сложен при анализе тканых материалов.

Литература

1. Сverdlov, Л.М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л.М. Сverdlov, М.А. Ковнер, Е.П. Крайнов // -М.: Наука. 1970. – 560 с.
2. Элькин М.Д., Джалмухамбетова Е.А., Алыкова О.М., Смирнов В.В. Использование метода функционала плотности DFT/B3LYP для моделирования адиабатических потенциалов конформеров моногидроксиизофлавонов. Сборник материалов Всероссийской молодежной научной конференции «Новые материалы и технологии: состояние вопроса и перспективы развития». 24-26 июня 2014 г. – Саратов: ООО «Издательский Центр «Наука», 2013. с. 500-507.
3. Элькин П.М., Джалмухамбетова Е.А., Смирнов В.В., Алыкова О.М. Моделирование адиабатических потенциалов конформеров гидроксиизофлавонов. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 22. № 25 (152). С. 19-24.
4. Мишина Н.В., Мишина Т.Л., Алыкова О.М., Смирнов В.В. Прикладные вопросы спектрального анализа для исследования составов косметических и волоконных материалов // Физическое образование в вузах.— 2018.— март.— Т. 24, № 1С.— С. 173-175.

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ КРИСТАЛЛА $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ И СУММАРНЫХ ЧАСТОТ ИЗЛУЧЕНИЯ СО-ЛАЗЕРА

Можжаева В.А.^{1,2}, Бадиков В.В.³, Бадиков Д.В.³, Ионин А.А.¹,
Киняевский И.О.¹, Климачев Ю.М.¹, Котков А.А.¹

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

² Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва

³ Кубанский государственный университет, Краснодар
+74991358648, 1996-racer@mail.ru

Для получения излучения среднего ИК диапазона широко применяются методы нелинейной кристаллооптики.

В данной работе экспериментально был исследован новый нелинейный кристалл среднего ИК-диапазона $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ (BGGSe) посредством генерации второй гармоники и суммарных частот излучения лазера на окиси углерода (СО-лазера). Впервые о синтезе этого материала сообщалось в работе [1]. Кристалл размером несколько миллиметров был выращен в Кубанском государственном университете [2]. Этот кристалл обладает высокими нелинейный коэффициентом (43.7-66 пм/В), порогом оптического повреждения (~ 110 МВт/см²) и двулучепреломлением (~ 0.1), достаточным для выполнения фазового синхронизма. В работе [3] теоретически показано, что кристалл BGGSe потенциально эффективнее кристалла ZnGeP_2 для широкополосного двухкаскадного преобразования частоты излучения СО-лазера.

Были проведены измерения углов фазового синхронизма в кристалле BGGSe для генерации второй гармоники излучения в интервале длин волн 4.4-5.6 мкм (Рис. 1), которые оказались на $\approx 0.5^\circ$ выше, чем рассчитанные по уравнениям работы [2]. Это свидетельствует о том, что двулучепреломление кристалла немного меньше и используемые дисперсионные уравнения требуют уточнения.

Поскольку величина нелинейного коэффициента, количественно характеризующего нелинейный отклик среды, для BGGSe в лите-

ратуре различается: $d_{11} = 43.7$ пм/В [1] и 66 ± 15 пм/В [2], то осуществлено его измерение.

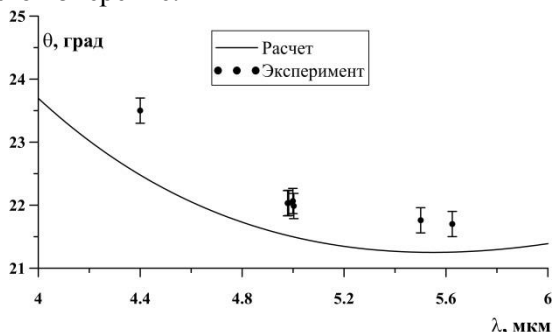


Рис. 1. Рассчитанные и измеренные углы фазового синхронизма.

Исследовалась генерация суммарных частот излучения неселективного СО-лазера в новом кристалле BGGSe (4 мм) и кристалле GaSe (6 мм) с уже известными свойствами в одинаковых условиях. Максимальная внутренняя эффективность преобразования в кристаллах BGGSe и GaSe достигла 1% и 0.3%, соответственно. Основываясь на известном значении нелинейности для кристалла GaSe и отношении эффективностей преобразования в кристаллах, было определено значение нелинейности кристалла BGGSe, которое составило 49 ± 15 пм/В.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 16-19-10619.

Литература

1. X. Lin, Y. Guo, N. Ye. BaGa₂GeX₆(X^{1/4}S, Se): New mid-IR nonlinear optical crystals with large band gaps. Journal of Solid State Chemistry. Vol.195. P.172–177 (2012).
2. V.V. Badikov, D.V. Badikov, V.B. Laptev et al. Crystal growth and characterization of new quaternary chalcogenide nonlinear crystals for the mid-IR: BaGa₂GeS₆ and BaGa₂GeSe₆. Optical Materials Express. Vol.6. P.2933-2938 (2016).
3. A.A. Ionin, I.O. Kinyaevskiy, and V.A. Mozhaeva. Numerical analysis of CO laser frequency conversion efficiency in BaGa₂GeSe₆ crystal. Laser Physics. Vol.28. P.035401 (2018)

ФАЗОВАЯ В-Т ДИАГРАММА МЕТАБОРАТА МЕДИ CuV_2O_4 : ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОЙ ЗАВИСИМОСТИ СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Молчанова А.Д.¹, Болдырев К.Н.¹

¹ *Институт спектроскопии РАН, Москва, Троицк
8-(903)-502-96-80, nastyamolchanova@list.ru*

Метаборат меди CuV_2O_4 кристаллизуется в тетрагональной нецентросимметричной пространственной группе $\bar{1}42d$, где магнитные ионы Cu^{2+} ($S = 1/2$) занимают две квадратные $4b$ и $8d$ позиции с симметрией S_4 и C_2 соответственно [1]. Подсистема Cu ($4b$) самопроизвольно упорядочивается при температуре Нееля $T_N = 21$ К в антиферромагнитную соразмерную структуру со спинами, лежащими в лёгкой ($xу$) плоскости, в то время как спины подсистемы Cu ($8d$) не полностью упорядочены и флуктуируют даже при самых низких температурах, что характерно для низкоразмерных систем [2].

Недавнее высокопрецизионное спектроскопическое исследование [3] экситонных линий на магнитных позициях $4b$ и $8d$ позволило разрешить магнитное Давыдовское расщепление медных $3d$ экситонов в CuV_2O_4 и, как следствие, наблюдать сильный линейный антиферромагнитный дихроизм (ЛАФМД) в кристаллографически изотропной ($xу$) -плоскости этого тетрагонального кристалла. В частности, был обнаружен новый магнитный фазовый переход в CuV_2O_4 , который не был зафиксирован в предыдущих исследованиях.

Метаборат меди также обладает интересными люминесцентными свойствами. В работе [4] сообщается о гигантской (до 70%) асимметрии интенсивности люминесценции между противоположными направлениями возбуждающего излучения.

В настоящей работе выполнено исследование спектров пропускания в области первой бесфононной линии (БФЛ) монокристалла CuV_2O_4 в варьируемых внешних магнитных полях геометрии Фойгта и Фарадея ($\mathbf{B}_{\text{ext}} \perp \mathbf{k}$ и $\mathbf{B}_{\text{ext}} \parallel \mathbf{k}$, соответственно) с индукцией до 25 мТл. Обнаружены проявления измерения характера дихроиз-

ма при магнитных фазовых переходах, такие как зависимость сигнала ЛАФМД от величины внешнего магнитного поля и смена знака дихроизма при различных магнитных фазовых переходах. По полученным данным построена уточненная фазовая **В-Т** диаграмма метабората меди и предложена интерпретация наблюдаемых изменений сигнала дихроизма при магнитных фазовых переходах. Также проведены исследования на предмет т.н. «невозвратности»: изменения величины поглощения при смене знака магнитного поля, выявлены особенности при магнитных фазовых переходах. Полученные данные свидетельствуют о более сложных физических процессах, происходящих в метаборате меди под действием температуры и магнитного поля, чем предполагалось ранее.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых кандидатов МК-3577.2017.2.

Литература

1. M. Martinez-Ripoll, S. Martinez-Carrera and S. Garcia-Blanco. The crystal structure of copper metaborate CuB_2O_4 . Acta Crystallographica Section B. Vol. 27, P. 677 (1971).
2. M. Boehm, B. Roessli, J. Schefer and A. Wills. B. Ouladdiaf, E. Lelievre-Berna, U. Staub and G. Petrakovskii. Complex magnetic ground state of CuB_2O_4 . Physical Review B. Vol. 68, P. 024405 (2003).
3. K. N. Boldyrev, R. V. Pisarev, L. N. Bezmaternykh and M. N. Popova. Antiferromagnetic Dichroism in a Complex Multisublattice Magnetoelectric CuB_2O_4 . Physical Review Letters. Vol. 114, P. 247210 (2015)
4. S. Toyoda, N. Abe and T. Arima. Giant directional asymmetry of luminescence in multiferroic CuB_2O_4 . Physical Review B. Vol. 93, P. 201109 (2016)

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОМ ПОЖАРНОМ ИЗВЕЩАТЕЛЕ

Мосенцов С.Н.¹, Москалец О.Д.¹

¹ СПбГУАП, Санкт-Петербург

Тел. +79217976551, e-mail: astro.spb.94@gmail.com

Был исследован процесс распространения лазерного излучения в волоконной и линзовой системах датчика оптического пожарного извещателя. Определена импульсная характеристика двойного фурье-процессора общего вида и рассмотрен вопрос о соотношении параметров входной апертуры и размера линз для определения наилучшего соотношения габариты/потери.

Данное исследование проводилось в рамках создания абсолютно взрывобезопасного лазерного пожарного извещателя, не имеющего на данный момент аналога. Приведённые в данной работе вычисления основываются на предыдущих, более ранних работах в этой области [1]. Целью существующей работы является исследование процесса распространения зондирующих лазерных сигналов в легированном ZnSe оптическом волокне проектируемого пожарного датчика, а также определение оптимальных соотношений габаритов линзовой системы датчика и оптических потерь в ней.

Спроектированный оптический лазерный пожарный извещатель, помимо дыма, способен обнаруживать различные продукты горения, определяемые используемой длиной волны оптического излучения. Однако для исследования были выбраны длины волн, на которых происходит максимальное поглощение оптического излучения для основных продуктов горения многих веществ: CO и CO₂.

Данное устройство спроектировано таким образом, что при его работе полностью исключается возникновение какой-либо искры или точек перегрева, характерных для неисправных или вышедших из строя электронных устройств [2]. Это позволяет использовать извещатель в агрессивных и взрывоопасных средах без опасности воспламенения лоцируемой среды.

В общем виде конструкция описываемого пожарного извещателя включает в себя:

1. Источник оптической мощности (ИОМ).
2. Оптическое волокно (ОВ).
3. Оптический разветвитель (ОР).
4. Линзы (Л).
5. Блок обработки сигналов (БОС).

Принципиальная схема описанного извещателя извещателя представлена на рисунке 1.

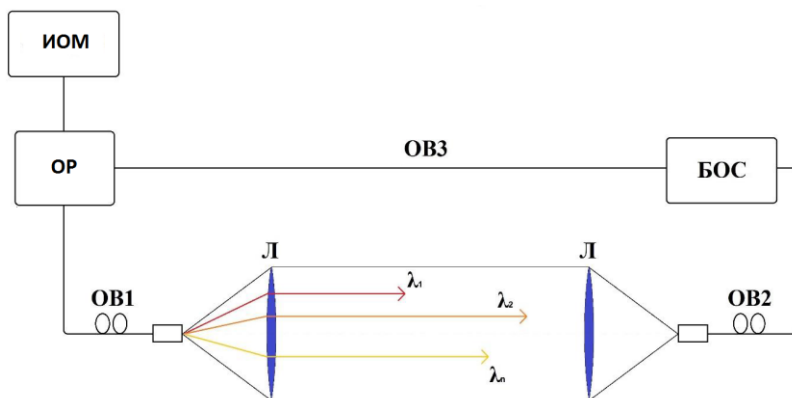


Рис.1. Общая схема оптического пожарного извещателя

Литература

1. Mosentsov, S.N., Influence of aperture lens system on optical information processing / S.N. Mosentsov, V.I. Kazakov, O.D. Moskaletz // Optics and Photonics for Information Processing, SPIE Vol. 9598 959809-1-9. – 2015. – №9. – pp. 6-8.
2. Казаков, В.И. Взрывобезопасный волоконно-оптический пожарный извещатель. Математическая модель чувствительного элемента / В.И. Казаков, О.Д. Москалец, Л.Н. Пресленев // Датчики и системы. – 2015. – №2. – С. 3-5.

ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОРОШКОВ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Назаров Р., Кудимов О.В.

Научный руководитель: д.т.н. Нагулин К.Ю.

+79655963700, nazarov.ramis@yandex.ru

Порошки никелевых сплавов широко используются как в традиционной порошковой металлургии, так и в бурно развивающейся отрасли аддитивных технологий. На качество получаемых аддитивными методами изделий напрямую влияют такие параметры частиц, как степень сферичности, однородность фракционного и химического состава. В процессе изготовления порошка методами газовой атомизации в частицах могут формироваться газовые поры [1], а получаемые частицы в полете могут сталкиваться друг с другом, формируя сателлитные структуры различной степени несферичности. Такие частицы ухудшают качество порошкового материала и снижают прочностные характеристики выращенных из него изделий. В этой связи разработка технологии плазменной обработки порошков никелевых сплавов, улучшающей качество порошка, является актуальной и практически значимой.

Исследовали порошок сплава на никелевой основе ПР-08ХН53БМТЮ - аналог Инконель718. Изображение частиц исходного порошка приведено на рис.1 а, а шлифы частиц порошка со вскрытыми газовыми порами - на рис.1 б. Обработка порошка проводилась в лабораторном плазмохимическом реакторе [2] мощностью 40 кВт и частотой 5 МГц. Плазмообразующий газ – Ar.

В процессе плазменной обработки порошка происходит не только сфероидизация его частиц, но и их дегазация. По мере нагрева частицы давление газа в поре повышается и при достижении температуры плавления материала происходит ее частичное или полное разрушение (Рис.1 в). Подбор режима плазматрона может обеспечить длительную циркуляцию частиц в плазме, что позволит их дегазировать, а затем, переплавив, сфероидизировать (Рис.1 г).

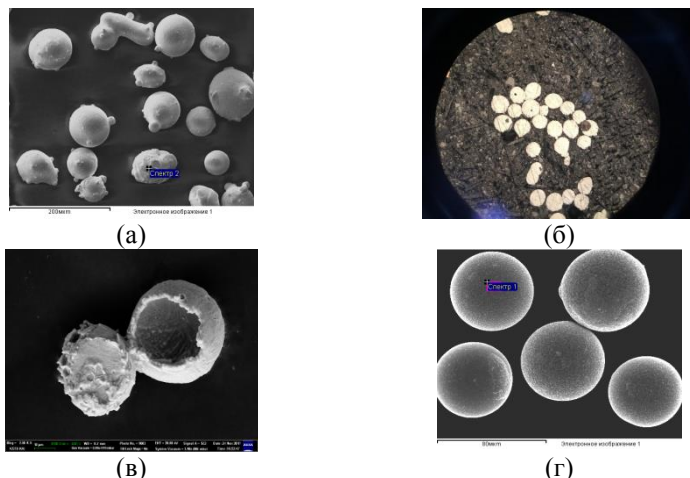


Рис.1. Изображения частиц исходного порошка (а), шлифов частиц исходного порошка с газовыми порами (б), частицы после ее взрывной дегазации (в) и сфероидизированных частиц (г).

Установлено, что плазменные методы обработки порошка никелевых сплавов позволяют не только повысить его сферичность, но и в значительной степени дегазировать.

Работа выполнена в рамках задания №9.3236.2017/4.6, Федеральной Целевой Программы №14.578.21.0245. и в рамках госконтракта № 14.Z50.31.0023 по 220 постановлению.

Литература.

1. H.Qi, M.Azer, A.Ritter Studies of Standard Heat Treatment Effects on Microstructure and Mechanical Properties of Laser Net Shape Manufactured INCONEL 718// Metallurgical and Materials Transactions A 2009, V.40, № 10, pp 2410–2422
2. Кудимов О.В. Математическая модель плазменного технологического реактора для синтеза и модификации порошковых материалов [Электронный ресурс] / Кудимов О.В., Назаров Р.; Салихов Р., Шпилёв А.И., Цивильский И.В., Нагулин К.Ю., Гильмутдинов А.Х. – Режим доступа: <https://conf.viam.ru/sites/default/files/uploads/proceedings/960.rar>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛЕНИЯ ПОРОШКОВ СПЛАВА ИНКОНЕЛЯ 718 ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Назаров Р., Кудимов О.В.

Научный руководитель: д.т.н. Нагулин К.Ю.

+79655963700, nazarov.ramis@yandex.ru

Процессы окисления металлов и сплавов интенсивно изучаются в связи с тем, что они чрезвычайно важны для новейших отраслей техники. Современная техника требует создания жаростойких и жаропрочных сплавов, новых полупроводниковых и магнитных материалов, металлов и сплавов для электролитических конденсаторов и иных материалов с особыми физическими свойствами [1].

Высокая степень окисления частиц порошка накладывает ограничения на его использование в аддитивных технологиях высокого разрешения [2].

Исследовали порошок сплава на никелевой основе ПР-08ХН53БМТЮ - аналог Инконель 718. Изображение частиц исходного порошка приведено на рис.1 а, а шлифы частиц порошка со вскрытыми газовыми порами - на рис.1 б. Обработка порошка проводилась в лабораторном плазмохимическом реакторе мощностью 40 кВт и частотой 5 МГц. Плазмообразующий газ – аргон.

В процессе плазменной обработки порошка происходит не только сфероидизация его частиц, но и окисление (Рис.1 б, в). Плазмообразующий газ течёт с большой скоростью, 40-80 л/час, тем самым образуется две области: область повышенного давления газа и приграничная область с пониженным давлением. В область пониженного давления, в процессе работы, подсасывается воздух из всех сколь малых щелей установки, а так же доля кислорода содержится в аргоне.

Добавление малой доли пропана в рабочую зону, и его последующего пиролиза, позволяет захватывать свободные молекулы кислорода, освободившимися молекулами водорода, образуя микроскопические капли воды, а освободившийся углерод образует немного сажи.

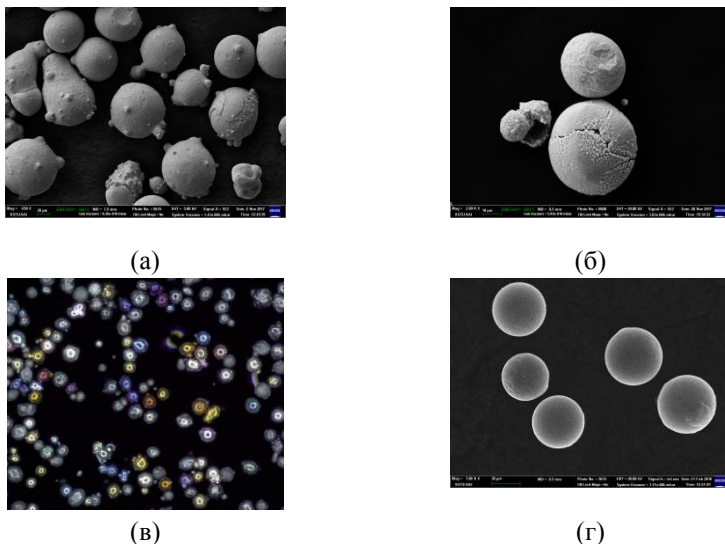


Рис. 1. Изображения частиц исходного порошка (а), сильно окисленные частицы (б), окисдные пленки разных цветов (в), сферичные частицы без окисления (г).

Установлено, что плазменные методы обработки порошка никелевых сплавов позволяют не только повысить его сферичность, но и восстанавливать порошок в присутствии водорода (Рис.1 г), для возможности вторичного использования окисленных, в процессе лазерного спекания, частиц порошка.

Работа выполнена в рамках задания №9.3236.2017/4.6, Федеральной Целевой Программы №14.578.21.0245. и в рамках госконтракта № 14.Z50.31.0023 по 220 постановлению.

Литература.

1. Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения / Спб.: Питер, 2016. – 400 с.: ISBN 978-5-496-02049-7.
2. Кофстад П.Н. Высокотемпературное окисление металлов / П.Н. Кофстад. – М.: Мир, 1969. – 392 с

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ

**Настулявичус А.А.¹, Смирнов Н.А.¹, Кудряшов С.И.,^{1,2}Ионин
А.А., Сараева И.Н**

¹ Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Москва

² «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики», Санкт-Петербург
+79653763511, ganuary_moon@mail.ru

Лазерная фабрикация коллоидных растворов наночастиц представляет в настоящее время большой интерес, обусловленный целью перевода лазерных технологий генерации золь наночастиц в индустрию наноматериалов, наноэлектроники, нанофотоники и наномедицины [1]. К преимуществам данного метода можно отнести чистоту и стабильность получаемых частиц [2].

Цель работы заключалась в получении растворов коллоидных частиц серебра при воздействии лазерного излучения волоконного лазерного маркера HTF MARK (Булат) на ионах Yb³⁺ с длительностью импульса на полувывсоте 120 нс, максимальной энергией в импульсе 1мДж и частотой повторения импульсов до 80 кГц. В качестве мишени использовались серебряные пленки. Спектры пропускания образцов были получены на спектрометре V-70 (Bruker). Для анализа распределения серебряных частиц была произведена визуализация с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL 7001F. Химический состав полученных серебряных структур был подтвержден с помощью энергодисперсионного рентгеноспектрального химического микроанализа (ЭДРС) с использованием модуля INCA (Oxford Instruments) электронного микроскопа.

Литература

1. Streubel R., Barcikowski S., Gökce B. // Optics letters, 2016. V. 41. №. 7. P. 1486.
2. Hahn A., Barcikowski S., and Chichkov Boris N., JLMN-Journal of Laser Micro/Nanoengineering Vol. 3, No. 2, 2008.

НЕИНВАЗИВНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ПО- ЛИМЕРНЫХ МЕМБРАНАХ

Науменко В.А.¹, Бункин Н.Ф.², Козлов В.А.², Шкирин А.В.^{1,3}

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

² *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Бау-
мана, Москва*

³ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва
+7(916)010-20-78, vladislav.main@yandex.ru*

Полимерные мембраны из Нафiona (Nafion™), разработанного фирмой DuPont, интенсивно исследуются последнее время [1], особенно в связи с применениями полимеров этого типа в низкотемпературных водородных элементах [2]. Пространственная структура Нафiona состоит из системы наномасштабных сферических полостей внутри гидрофобной полимерной матрицы, связанных между собой наноканалами. Известно, что вблизи поверхности Нафiona, набухшего в воде, образуется особая область размером ~ 100 мкм (т.н. «исключенная зона»), из которой выталкиваются внешние коллоидные частицы [3].

Для изучения приповерхностной структуры Нафiona в воде была разработана неинвазивная методика, основанная на фотолюминесцентной лазерной спектроскопии. Схема экспериментальной установки изображена на Рис.1. Зондирующее излучение непрерывного лазерного диода (1) на длине волны 369 нм вводится внутрь многомодового кварцевого волокна (2) с диаметром 100 мкм и числовой апертурой $NA = 0.3$, которое закреплено в центре дна цилиндрической кюветы (3). Кювета заполняется жидкостью, в которую параллельно оптической оси погружается исследуемая мембрана (пластинка из Нафiona). Отраженное от стенок кюветы излучение фотолюминесценции принимается кварцевым волокном (5), также закрепленным в центре дна кюветы. Далее, спектр фотолюминесценции анализируется миниспектрометром ФСД-8 (6) и выводится на компьютер (7). Пластинка Нафiona отодвигалась от

оптической оси с помощью микрометрического винта (8), т.е. измерения проводились в геометрии скользящего падения.

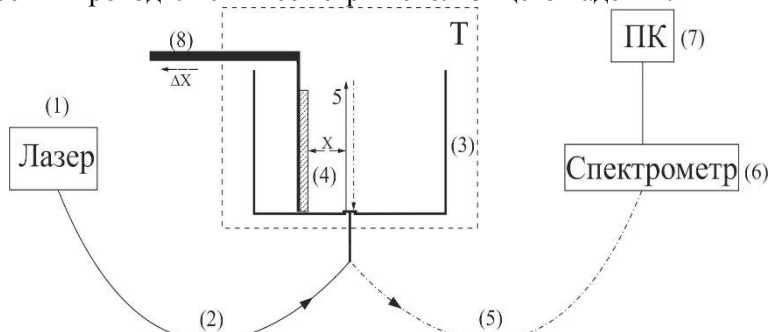


Рис.1. Схема экспериментальной установки по фотолюминесцентной спектроскопии.

Показано, что эффект формирования исключенной зоны заключается в «проращении» волокон Нафiona в объеме воды. На основе экспериментальной зависимости интенсивности люминесценции от смещения пластины в направлении, поперечном оптической оси, была решена обратная задача по нахождению профиля пространственного распределения частиц Нафiona в объеме воды при различных концентрациях дейтерия (тяжелой воды).

Зависимость ширины исключенной зоны от концентрации дейтерия C проявляет выраженный максимум в диапазоне $1.95 < \lg C < 3$; этот диапазон включает в себя и природную воду.

Литература

1. K.A. Mauritz, R.B. Moore. State of Understanding of Nafion. Chemical Reviews. Vol.104. P.4535-4586 (2004).
2. K.D. Kreuer. On the development of proton conducting polymer membranes for hydrogen and methanol fuel cells. Journal of Membrane Science. Vol.185. P.29-39 (2001).
3. B. Chai, G.H. Pollack. Solute-Free Interfacial Zones in Polar Liquids. Journal of Physical Chemistry B. Vol.114. P.5371-5375 (2010).

РАЗДЕЛЕНИЕ ЗАХВАТА СРЕДНЕГО ИК – ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ ДОНОРНЫХ ПРИМЕСЕЙ СЕРЫ В НАНО-СЕКУНДНОМ ЛАЗЕРНОМ МИКРОСТЕКТУРИРОВАННОМ СЕВЕРХЛЕГИРОВАННОМ КРЕМНИИ: СПОСОБ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО СПЕКТРАЛЬНО МЕЖЗОННОГО ИК – ПОГЛОЩЕНИЯ

*Нгуен Л.В.^{1,2}, Кудряшов С.И.², Руденко А.А.², Хмельницкий Р.А.²,
Ионин А.А.²*

¹ Московский физико-технический институт, Институтский пер., 9,
141701, Московская область, г. Долгопрудный

² Физический институт им. П.Н. Лебедева, Ленинский проспект, 53,
119991 Москва

Тел: +792608271686, E – mail: nguyenluong.ttndvn@gmail.com

В последнее время был рассмотрен ряд передовых нанофотонных и материальных технологий для достижения повышения эффективности современных солнечных элементов, в том числе способ индуцированного лазерного микроструктурирования и сверхлегирования примесями активных материалов для усиления его способности ИК-поглощения путем захвата света и поглощения донорных примесей [1].

Топография поверхности

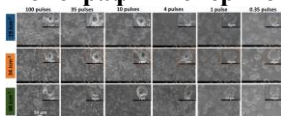


Рис. 1 СЭМ-изображения абляционных пластин кремния.

Химическая модификация

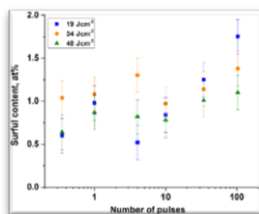


Рис 2. Относительное содержание легирующей серы в зависимости от различных количеств импульсных лазеров в точку.

В этом исследовании ИК-наносекундное лазерное микротекстурирование и сверхлегирование поверхностных пластин Si в жидком сероуглероде осуществлялось в широком диапазоне плотности энергии и количества импульсных лазеров в точку. С целью разделения влияния на сверхлегирование серы и средний ИК-захват света и для обнаружения оптимальных режимов сверхлегирования и микротекстурирования для фабрикация фотоэлектрической кремниевой плёнки

ИК-Фурье-спектроскопия

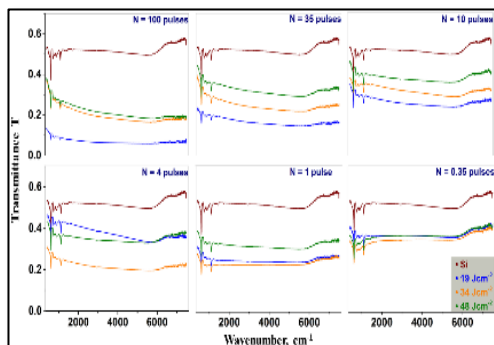


Рис 3. Средние ИК-спектры пропускания T

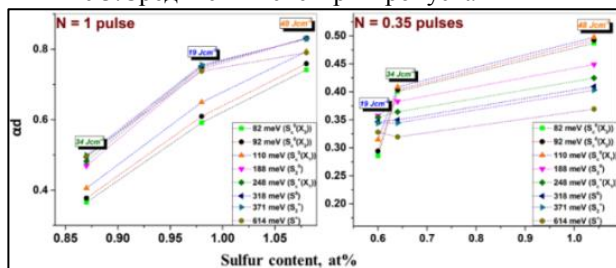


Рис 4. Оптическая плотность абляционных пластин кремния в разных спектральных положениях, представляющих соответствующие промежуточные переходы из разных состояний доноров серы [2].

Литература

1. C.H. Crouch, J.E. Carey, M. Shen, E. Mazur, F.Y. Genin, Infrared absorption by sulfur-doped silicon formed by femtosecond laser irradiation, *Applied Physics A* 79 (2004) 1635-1641.
2. H.G. Grimmeiss, E. Janzen, B. Skarstam, Deep sulfur-related centers in silicon, *J. Appl. Phys.* 51 (1980) 4212-4217.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МАССИВОВ МИКРООТ- ВЕРСТИЙ В ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

Нгуен Ч.Т.Х.^{1,2,*}, Кудряшов С.И.^{1,3}, Данилов П.А.¹, Ионин А.А.¹,
Хмельницкий Р.А.¹, Руденко А.А.¹, Сараяева И.Н.¹, Заярный Д.А.¹

¹ Физический институт им. Лебедева РАН, 119991 Москва, Россия

² Московский физико-технический институт, 141700 Долгопрудный, Рос-
сия

³ Государственный университет информационных технологий, механики
и оптики, 197101 Санкт-Петербург, Россия

Тел. +7 (967) 132-83-39; e-mail: trang.nguyenthihuyen@htu.edu.vn

В настоящее время нано- и микроотверстия в тонких металличе-
ских пленках являются одними из наиболее простых и распростра-
ненных элементов нанооптики, и поэтому представляют большой
интерес. В данной работе проведено экспериментальное исследо-
вание формирования больших упорядоченных массивов микроот-
верстий ($\sim 10^5$ - 10^6 отверстий на массив) различных диаметров и пе-
риодов в тонких пленках различной толщины из разнообразных
плазмонных материалов (Ag, Cu, Al, Au-Pd (80%/20%)) под дей-
ствием фемтосекундного лазерного импульса [1] и влияния пара-
метров получаемых массивов микроотверстий на их оптические
спектральные свойства. В частности, обнаружено, что коэффици-
ент пропускания массивов микроотверстий зависит от толщины и
типа пленки, размера (диаметра и периода) микроотверстий в тер-
минах плавности перехода от обычного пропускания Бете-Букампа
к его плазмонно-усиленному аналогу экстраординарного пропус-
кания света (ЭПС), заканчивая обычным геометрическим (волно-
водным) пропусканием. На базе больших упорядоченных массивов
микроотверстий в тонких серебряных пленках продемонстрирована
платформа (биосенсорная подложка) для хемо- и биосенсорики с
использованием метода усиленного инфракрасного (ИК) поглоще-
ния света [2, 3].

Литература

1. П.А. Данилов, Д.А. Заярный, А.А. Ионин, С.И. Кудряшов, Ч.Т.Х. Нгуен, А.А. Руденко, И.Н. Сараева, А.А. Кучмижак, О.Б. Витрик, Ю.Н. Кульчин. Структура и механизмы лазерного формирования микроконусов на поверхности серебряных пленок варьируемой толщины. Письма в ЖЭТФ. том 103. вып. 8. с. 617-621 (2016).
2. P.N. Danilov, S.A. Gonchukov, A.A. Ionin, R.A. Khmel'nitskii, S.I. Kudryashov, T.T.H. Nguyen, A.A. Rudenko, I.N. Saraeva and D.A. Zayarny. Background-free, highly sensitive surface-enhanced IR absorption of rhodamine 6G molecules deposited onto an array of microholes in thin silver film. Laser Phys. Lett. V.13. p. 055602 (2016).
3. T.V. Baikova, P.A. Danilov, S.A. Gonchukov, V.M. Yermachenko, A.A. Ionin, R.A. Khmel'nitskii, S.I. Kudryashov, T.T.H. Nguyen, A.A. Rudenko, I.N. Saraeva, T.S. Svistunova and D.A. Zayarny. Diffraction microgratings as a novel optical biosensing platform. Laser Phys. Lett. V.13. p.075602 (4pp) (2016).

АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ДВУХОРБИТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ВТСП НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Неверов В.Д., Жумагулов Я.В., Лукьянов А.Е., Красавин А.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Москва*

тел. +7 922 5461988, e-mail: slavesta10@gmail.com

Открытие высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) на основе железа [1] явилось новым стимулом к выяснению природы сверхпроводимости в сложных соединениях со слоистой структурой. По сравнению с ВТСП на основе меди, соединения на основе железа имеют более сложную фазовую диаграмму, включающую антиферромагнитные, структурные и сверхпроводящие фазовые переходы [2, 3]. Ключевым объектом исследования в настоящее время является выяснение роли электронных корреляций в ВТСП на основе железа, которые, как правило, являются определяющими в формировании физических свойств систем, построенных с участием переходных элементов [4].

ВТСП на основе железа имеют структуру, представляющую собой близко расположенные атомные плоскости, состоящие, например, для пниктидов, из атомов Fe и As. Описание физических свойств этих соединений в рамках двумерной модели сильной связи возможно достаточно корректно именно благодаря такой ярко выраженной анизотропии. Однако эти модели оказываются существенно более сложными и многозонными, чем, например, модель Эмери для медь-оксидных ВТСП.

Для двухорбитальной модели, которая является минимальной моделью ВТСП на основе железа, при половинном заполнении и нулевой температуре возможны различные фазовые состояния системы в зависимости от параметров электронного взаимодействия: парамагнитное или антиферромагнитное с различными типами упорядочения. В настоящей работе получена фазовая диаграмма двухорбитальной модели и спектральные характеристики (рис. 1)

каждой фазы в зависимости от параметров кулоновского U и хундовского J взаимодействий.

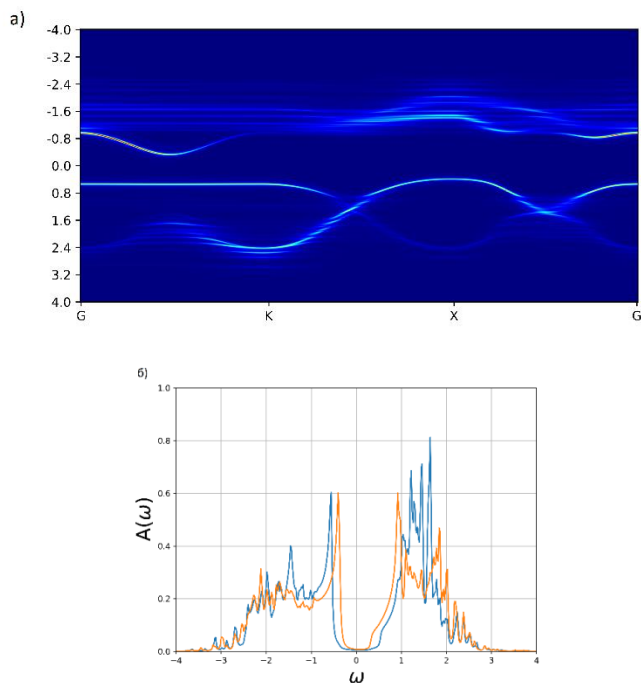


Рис. 1. Зонная структура (а) и плотность состояний (б) двухорбитальной модели для параметров $U = 2; J = 0.5$ в фазе антиферромагнитного упорядочения со структурным фактором $(\pi, 0)$

Литература

- 1 Y. Kamihara, T. Watanabe, M. Hirano, and H. Hosono, J. Am. Chem. Soc., **130** 3296 (2008).
- 2 Yu. Isyumov, E. Kurmaev. High-Tc Superconductors Based on FeAs Compounds. Springer, 2010.
- 3 E. Dagotto, Rev. Mod. Phys. **85** 849 (2013).
- 4 И.А. Некрасов, М.В. Садовский. Письма в ЖЭТФ, **99** 687 (2014).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗАГРЯЗ- НЯЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ В ХАЛЬКОГЕНИДАХ ЦИНКА С ПОМОЩЬЮ ФЛУОРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ

Низматуллин И.Р., Черепанов К.В., Гришанов В.Н.

Самарский национальный исследовательский университет имени

С.П.Королева, Самара

тел.:89677631793 e-mail: galaktus93@mail.ru

Халькогениды цинка (ZnS и ZnSe) являются полупроводниковыми веществами, получившими широкое распространение как пленкообразующие материалы в области нанесения интерференционных покрытий [1]. Пленки, получаемые из этих материалов, имеют высокую плотность, адгезионно совместимы с фторидными пленками низкого показателя преломления (такими, как например YF_3). Данные характеристики делают эти материалы перспективными в области нанесения интерференционных покрытий, работающих в видимой и ИК области спектра. При использовании этих материалов, как пленкообразующих, в покрытиях деталей, предназначенных для работы в составе приборов флуорометрического анализа, критическое значение имеет наличие в них паразитных активирующих примесей, превращающих данные материалы в источники паразитного флуоресцентного излучения.

В данной работе показана возможность использования флуоресцентного анализа для определения загрязнения чистых материалов ZnS и ZnSe примесями меди, а также для отделения чистого ZnSe от смеси $\text{ZnSe}_{0.5}\text{S}_{0.5}$. Для исследования были отобраны чистые материалы и материалы бывшие в употреблении, прошедшие отжиг в вакуумной установке электронно-лучевого распыления.

Было установлено, что изначально чистые материалы ZnS , ZnSe в виде порошка, спрессованного в плотные таблетки, в ходе термического электронно-лучевого испарения в вакууме подвергаются отжигу в медном тигле и загрязняются примесями меди, становясь сильными люминофорами, что частично ограничивает возможность вторичного использования остатков материала для нового напыления.

ЗАТУХАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ НАНОПЛАСТИН CdTe ВО ВНЕШЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Нурминская Н.А.¹, Соловей В.Р.^{2,3}, Селюков А.С.^{2,3}, Швайко Д.Р.²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

² МФТИ (ГУ), Долгопрудный

³ ФИАН им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

тел.: 8-916-236-11-84, e-mail: nurm-n@yandex.ru

Коллоидные полупроводниковые нанокристаллы на основе халькогенидов кадмия широко изучались как перспективный материал для изготовления оптоэлектронных и нанофотонных устройств. Подобный интерес вызван привлекательными оптическими свойствами данных объектов: узкие линии поглощения и излучения, малые времена релаксации люминесценции. Тем не менее, лишь в немногих работах непосредственно рассматривалось влияние электрического поля на их оптические свойства [1,2].

Целью работы являлось изучение затухания фотолюминесценции планарных нанопластин CdTe на больших временных интервалах (до 1.6 мкс) под воздействием внешнего электрического поля.

Для нанопластин CdTe при оптическом возбуждении (3.06 эВ) в максимуме их межзонной люминесценции (2.47 эВ) были получены кривые затухания фотолюминесценции в приложенном электрическом поле (Рис.1) при последовательном его увеличении с 0 до 90 кВ/см с интервалом 30 кВ/см. Обнаружено заметное падение (более чем на порядок) сигнала люминесценции на интервале 0.6-1.6 мкс. Данный результат объяснен влиянием поля на разделение носителей заряда [2,3]: поле препятствует захвату одного из носителей заряда в экситоне в долгоживущую (порядка нескольких микросекунд) ловушку – в результате рекомбинация экситонов происходит на наносекундных временных масштабах, что подтверждается результатами [2], где для нанопластин CdTe в электрическом поле обнаружен существенный рост числа экситонов, рекомбинировавших на интервалах 2-20 нс после возбуждения.

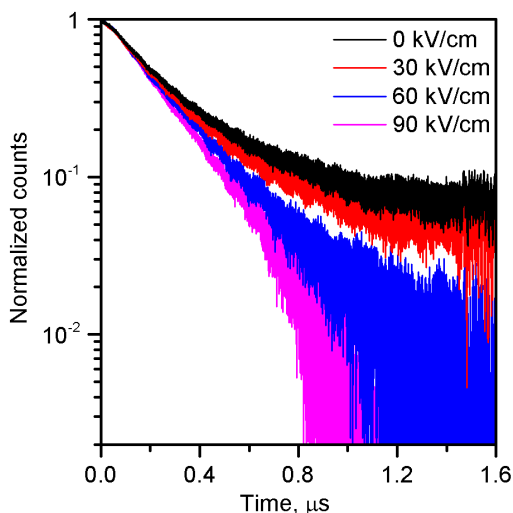


Рис.1. Кривые затухания фотолюминесценции нанопластин CdTe во внешнем электрическом поле (0-90 кВ/см).

Полученные результаты могут оказаться полезными для объяснения механизмов люминесценции планарных нанокристаллов в составе гибридных органо-неорганических светоизлучающих диодов и могут помочь найти способы повышения их эффективности.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18-02-00811 А, 16-29-11805 офи_м и 16-02-00594 А.

Литература

1. L.I. Gurinovich et al. Effect of an electric field on photoluminescence of cadmium selenide nanocrystals. Journal of Applied Spectroscopy. Vol.77. Issue.1. P.120-125 (2010).
2. A.G. Vitukhnovsky et al. Photoluminescence of CdTe colloidal quantum wells in external electric field. Journal of Luminescence. Vol.186. P.194-198 (2017).
3. F.T. Rabouw et al. Temporary Charge Carrier Separation Dominates the Photoluminescence Decay Dynamics of Colloidal CdSe Nanoplatelets. Nano Letters. Vol.16. Issue 4. P.2047-2053 (2015).

ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Нэй Х.А., Мустафаев Э.С., Метель А.С.

*МГТУ «СТАНКИН», Москва
+7(985)065-78-53, nayhtetaung53@gmail.com*

Для упрочнения поверхности изделий машиностроения имплантацией, азотированием или путем синтеза износостойких покрытий необходимо погрузить их в однородную плазму при давлении газа 0,01–1 Па. Получить такую плазму в вакуумной камере технологической установки легче всего с помощью тлеющего разряда с электростатическим удержанием электронов [1, 2]. Однако загрязнение плазмы примесями, распыляемыми со стенок камеры ионами с энергией ~ 500 эВ, существенно ограничивает диапазон применения разряда. Поэтому актуальной задачей является уменьшение на порядок энергии ионов, ускоряемых в слое у стенки камеры.

Целью настоящей работы является снижение ускоряющего ионного разрядного напряжения с помощью плазменного катода. Электроны отбираются из плазменного эмиттера (рис. 1), формируемого разрядом между полым катодом диаметром 300 мм, длиной 130 мм и заземленной эмиссионной сеткой. Азот подается в полый катод, а через его выходное отверстие диаметром 30 мм и отверстия сетки поступает в камеру диаметром и длиной по 500 мм. Малый диаметр катодного отверстия обеспечивает перепад давления, превышающего 1 Па внутри катода и меньшего 0,5 Па в камере, а также предотвращает попадание в камеру материала катода, распыляемого ионами с энергией 500 эВ. Электроны ускоряются в катодном слое между плазменным эмиттером и плазмой в камере, отражаются в слое у ее противоположной стенки и до попадания на анод проходят такое же расстояние в сотни метров, как и электроны, эмитированные камерой в результате ее бомбардировки ионами из плазмы. Они поддерживают разряд при давлении 0,01 Па, так как успевают потратить на ионизацию газа всю свою энергию.

Показано, что с ростом тока инжектируемых электронов до величины тока ионов в цепи камеры разрядное напряжение снижает-

ся на порядок до десятков вольт, а степень загрязнения плазмы примесями с распыляемых ионами стенок камеры значительно снижается. Инжектируемые электроны осуществляют интенсивную диссоциацию азота, и концентрация атомарных ионов азота становится в 10 раз больше концентрации его молекулярных ионов.

Инжекция не нарушает однородность плазмы. В центральной зоне камеры, отстоящей от ее стенок на 10 см, неоднородность концентрации плазмы не превышает $\pm 10\%$.

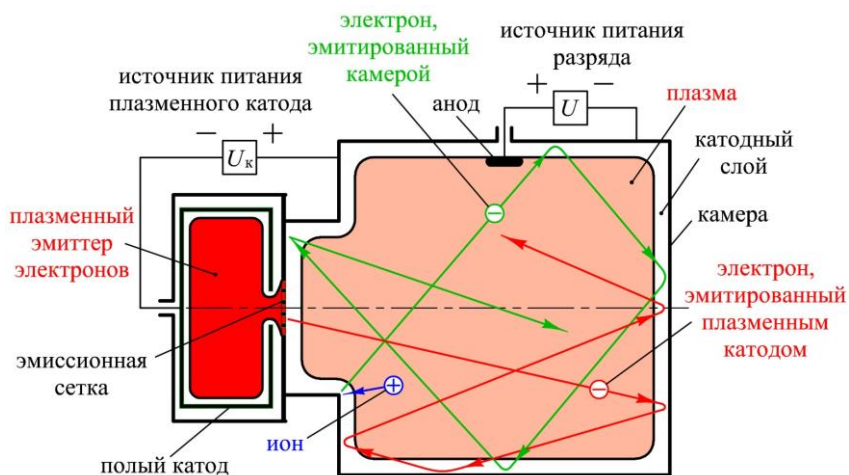


Рис.1. Схема инжекции в камеру электронов из плазменного катода

Литература

1. А.С. Метель, С.Н. Григорьев, Ю.А. Мельник, В.В. Панин. Заполнение рабочей камеры технологической установки однородной плазмой с помощью стационарного тлеющего разряда. Физика плазмы. Т. 35. № 12. С. 1140–1149 (2009).
2. V.I. Kolobov, A.S. Metel. Glow discharges with electrostatic confinement of fast electrons. Journal of Physics D: Applied Physics. V. 48. No 5. P. 233001/1–19 (2015).

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ КРЫШКИ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

Овсенёв А.Е., Балачков М.М. Пермикин А.А.

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

7-913-871-42-86, ovsenev1993@mail.ru

Все основное оборудование реакторной установки (РУ) ВВЭР-1000 эксплуатируется в жестких условиях. Крышка реактора не является исключением. Данная конструкция подвержена жесткому динамическому и температурному воздействию, которые приводят к деградации свойств материала крышки реактора в процессе эксплуатации. Данная конструкция хоть и сделана из особо прочного материала, который способен выдержать все воздействия, которые происходят за весь срок проектной эксплуатации, но есть на крышке такие участки, которые наиболее подвержены хрупкому разрушению.

Поэтому целью данной работы являлось: произвести расчетный анализ сопротивления хрупкому разрушению крышки реактора ВВЭР-1000 для выявления областей наиболее подверженных данному разрушению, также в результате расчета, определить возможность дальнейшей эксплуатации данной конструкции.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что данный расчет можно выполнять в обосновании продления сроков эксплуатации того оборудования и конструкций РУ, которые отрабатывали свой проектный срок эксплуатации.

Расчет температурных полей и напряженно-деформированного состояния проводился с использованием программного комплекса MSC.Marc 2005. Использовались восьми-узловые изопараметрические конечные элементы с линейной интерполяцией перемещений и температур.

В результате анализа напряженного состояния, определились наиболее опасные местоположения постулированных дефектов для рассматриваемых элементов конструкции. Сварное соединение и эллипсоид крышки реактора являются наиболее опасными с пози-

ций сопротивления хрупкому разрушению крышки реактора. Постулируемые дефекты располагались там, где действует максимальные растягивающие напряжения в аварийных режимах. На рисунке 1 схематично показаны местоположения постулируемых дефектов в рассматриваемых элементах крышки реактора.

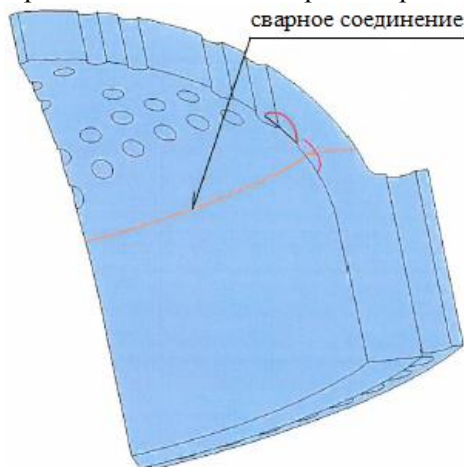


Рис.1. Местоположение спектра осевых трещин постулируемых в металле эллипсоида и сварного соединения

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОГЕОМЕТРИЮ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Остриков Е.А.¹, Малахинский А.П.¹

¹ *ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», г. Москва
конт. тел. 9167703392, e-mail, evgeniy-ostrikov@yandex.ru*

Существенная часть выходов из строя режущего инструмента вызвана повреждением режущей кромки. Скругление режущей кромки позволяет изменить направление результирующей силы резания, что позволяет существенно уменьшить растягивающие напряжения на передней поверхности. С другой стороны, чрезмерное увеличение радиуса округления приведет к росту силы и температуры резания.

К тому же помимо радиуса режущей кромки на характер процесса резания и износа инструмента влияют и другие геометрические параметры. Для их оценки предлагается использовать form-factor method [1], который позволяет оценить среднюю скругленность режущей кромки, ориентацию закругления и ее остроту. От способности соблюдения баланса всех этих геометрических параметров зависит срок службы инструмента.

Лазерная обработка поверхности и кромки режущего инструмента относится к одним из перспективных способов обработки. И, хотя срок службы инструмента, обработанного лазером, незначительно отличается такового для инструмента, обработанного абразивом [12], к достоинствам этого метода обработки можно отнести высокую воспроизводимость, точность, возможность обработки сложных поверхностей, локальное воздействие на поверхность и возможность обработки сверхтвердых материалов, для которых традиционные механические методы практически непригодны.

Предметом настоящей работы является установление влияния параметров лазерной обработки на удаление материала с кромки и поверхности режущего инструмента, т.е. на формирование микрогеометрии режущего инструмента.

Испытания проводились на лазерно-маркировочной системе U-15 (RMI Laser, США). Это твердотельный маркировочный лазер с диодной накачкой, длиной волны 1064 нм, выходной мощностью излучения до 15 Вт (в режиме непрерывного излучения), длительностью импульса 10 нс и диаметром пятна 50 мкм. В качестве материала для исследований были выбраны шлифованные пластины из быстрорежущей стали М2.

В ходе исследований были выявлены зависимости влияния параметров лазерного излучения на микрогеометрию поверхности инструмента из стали М2, в частности получена зависимость глубины абляции от удельной энергии лазера (рис 1).

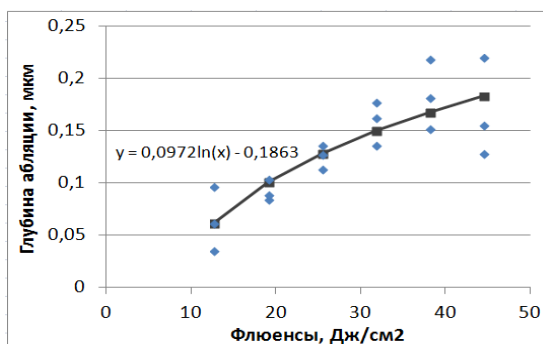


Рис.1. Зависимость глубины абляции от удельной энергии лазера для стали М2.

Таким образом, полученные в ходе исследования зависимости позволяют подобрать параметры лазерного излучения для формирования режущей кромки с необходимыми геометрическими параметрами.

Литература

1. Denkena, B., Reichstein, M., Brodehl, J., Leon Garcia Lde. Surface Preparation, Coating and Wear Performance of Geometrically Defined Cutting Edges. 8th CIRP Int. Workshop on Modeling of Machining Operations, May 10–11(2005).
2. Arryo J.M., Diniz, A.E., Fernandes de Lima, M.S. Wear performance of laser precoatng treated cemented carbide milling tools. Wear 268 (2010) 1329-1336

СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК ZnO МЕТОДОМ ИОННО-ЛУЧЕВОГО НАПЫЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ АРГОН-ВОДОРОД

Панков С.Ю.¹, Жилова О.В.¹, Макагонов В.А.¹

¹ Воронежский Государственный Технический Университет, г. Воронеж
8-952-554-12-00, srgpank@mail.ru

Целью данного исследования является определение условий получения на структуру и электрические свойства тонких пленок ZnO. Образцы были получены методом ионно-лучевого распыления [1] керамической мишени ZnO в атмосфере аргона и аргон-водород. Толщина образцов варьировалась в диапазоне 45 – 85 нм. Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что пленки состоят преимущественно из аморфной фазы, в которой присутствуют нанокристаллы ZnO, с отличающимися от объемного оксида цинка свойствами. Установлено, что удельное электрическое сопротивление и термоэдс тонких пленок ZnO, синтезированных в среде аргона, не зависят от толщины пленки. Для тонких пленок ZnO с малой толщиной (менее 55 нм), которые были синтезированы в среде аргона с добавлением водорода, наблюдается рост удельного электрического сопротивления и термоэдс с уменьшением толщины пленки.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки в рамках проектной части государственного задания (проект № 3.1867.2017/4.6).

Литература

1. Б.А. Аронзон, А.Б. Грановский, Ю.Е. Калинин, С.Н. Николаев, В.В. Рыльков, А.В. Ситников, В.В. Тугушев // ЖЭТФ. – 2006. – Т.129. – Вып.7. – С.127 – 136.

ЛАЗЕРНОЕ 3D ФРЕЗИРОВАНИЕ КЕРАМИКИ ДИОКСИД ЦИРКОНИЯ

Панов Д.В., Петровский В.Н., Ишкняев Э.Д., Щекин А.С., Осинцев А.В., Иванов А.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва
8(906)791-78-40, panovdv96@yandex.ru*

Целью исследований было установление оптимальных параметров использования технологии лазерного фрезерования для прецизионной обработки керамических образцов из неспеченной и спеченной керамики диоксид циркония (ZrO_2) для создания стоматологических конструкций.

Объектом исследования являлись керамические материалы на основе диоксида циркония, которые отличались различной степенью opakовости: HT(Hight Translucent), ST(Super Trancluent), SHT(Super High Trancluent). Также исследовался образец спеченной керамики opakовости ST.

В экспериментах по обработке керамических образцов использовались две лазерные технологические установки на основе импульсных лазеров на длине волны 1060 нм. и 532 нм. с возможностью создания 3D конструкций.

Рассмотрены спектральные характеристики образцов керамики, а также механизмы поглощения. На основании этого даны рекомендации по использованию источника лазерного излучения для максимально эффективного удаления керамики. Проведены эксперименты по созданию трехмерных объектов различной формы. Оценены их параметры.

Исследовано влияние основных параметров лазерного излучения: плотности мощности, частоты, а также, параметров сканирующей системы: частота штриховки, скорость на точность и эффективность обработки керамики. На рисунке приведена зависимость глубины обработки от плотности мощности лазерного излучения.

Для оценки точности использовался параметр шероховатости поверхности (R_a) с применением профилометра Dektak 150 произ-

водства Veeco Instruments Inc.. Получены результаты о связи параметра Ra с параметрами лазерного излучения и параметрами сканирующей системы.

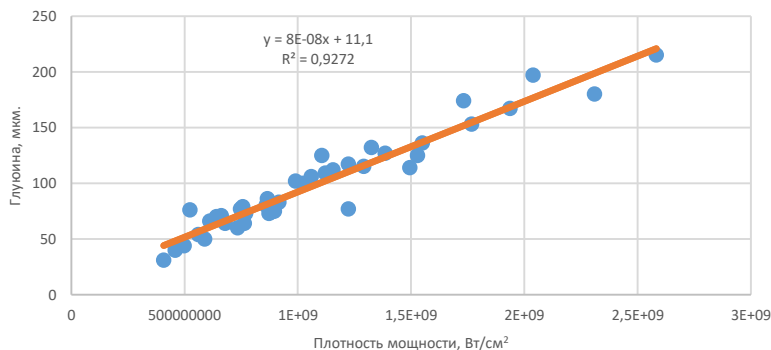


Рис. 1 Зависимость глубины от плотности мощности лазерного излучения

В результате выполненных исследований, установлены методы управления параметрами обработки для точного и эффективного получения 3D конструкций.

КИНЕТИКА БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ АНСАМБЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ В ТОКА- МАКЕ T-15

Подтурова О.И.^{1,2}

¹ *Российский университет дружбы народов, Москва*

² *НИИЦ «Курчатовский институт», Москва
+7 (495) 955-0813 , olga_podturova@list.ru*

Эффект генерации бутстрэп-тока [1,2] имеет важное значение для неиндукционного поддержания тока в стационарном токамаке-реакторе [3]. Эффект является следствием анизотропизации функции распределения заряженных частиц с неоднородной концентрацией в магнитном поле токамака. Настоящая работа посвящена исследованию бесстолкновительной эволюции функции распределения ансамбля высокоэнергичных частиц плазмы с учетом специфики геометрии магнитного поля в токамаке T-15. В работе рассчитаны локальные значения функции распределения и генерируемых макроскопических плазменных потоков без усреднения по магнитным поверхностям. Расчёт выполнен во всём объёме плазменного шнура, в том числе, на магнитной оси токамака. Используемый в работе алгоритм кинетического расчёта [4] свободен от упрощающих предположений дрейфовой и неоклассической теорий и основывается на численном интегрировании точных трёхмерных траекторий движения заряженных частиц. Получен вид стационарной бесстолкновительной функции распределения высокоэнергичных ионов в магнитном поле токамака T-15. Приведены результаты расчёта плотности тороидального тока (бутстрэп-тока), самопроизвольно генерируемого в токамаке в результате взаимодействия заданного ансамбля частиц с магнитным полем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение 3.2223.2017/4.6).

Литература

1. Galeev A A, Sagdeev R Z 1971 JETP Letters 13 p 113
2. Hinton F L, Hazeltine R D 1976 Rev. Mod. Phys 48 p 239
3. Bickerton R J, Connor J W, Taylor J B 1971 Nature Phys. Sci. 229 p 110
4. Ilgisonis V I, Sorokina E A, Yurchenko E I 2010 Plasma Phys. Rep. 36 (1) pp 1-14

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВЫХ ОКСИДНЫХ КЕРАМИК ПРОИЗВОДСТВА ФИРЭ РАН И ФКП «ГЛП «РАДУГА»

***Полезов К.А.^{1,2}, Безотосный В.В.^{1,2}, Балашов В.В.³,
Булаев В.Д.⁴, Канаев А.Ю.⁴, Кравченко В.Б.³,
Киселев А.В.⁴, Копылов Ю.Л.³, Коромыслов А. Л.¹, Крохин О.Н.^{1,2},
Лопухин К. В.³, Лысенко С.Л.⁴, Панков М.А.⁴, Попов Ю.М.^{1,2},
Тупицын И.М.^{1,2}, Чешев Е.А.^{1,2}***

¹ ФИАН, 119991, Москва, Ленинский проспект, д.53;

² НИЯУ МИФИ, 115409, г. Москва, Каширское ш., 31;

³ ФИРЭ РАН им. В.А. Котельникова, 141190, г. Фрязино Московская
область, пл. Введенского 1,

⁴ ГЛП «Радуга»

+79152271815, k.polevov@yandex.ru

Основной проблемой технологии получения YAG керамики лазерного качества является задача устранения остаточных пор.

Предложен оригинальный метод определения остаточной концентрации пор путем измерения порога лазерной генерации керамик при продольной диодной накачке в условиях синхронизации поперечных мод. Детали этого метода описаны в работах [1-3]. Выполнены сравнительные исследования порогов генерации образцов лазерной керамики «ГЛП «Радуга», ФИРЭ РАН и Konoshima Chem. Corp. Ltd как эталонного образца с различной концентрацией остаточных пор. Результаты представлены на рис. 1

Выполнены сравнительные исследования времени жизни лазерного уровня образцов лазерной керамики ФИРЭ РАН и Konoshima Chem. Corp. Ltd как эталонного образца. Время жизни лазерного уровня измерялось с помощью фотоприемника DET08C/M с временным разрешением 170 пкс и осциллографа Tektronix TDS 2012C с полосой 200 МГц.

На рис. 2 представлен пример регистрируемой кинетики люминесценции керамики Nd (1%):YAG производства ФИРЭ РАН. Найденные времена жизни лазерного уровня представлены в таблице 1.

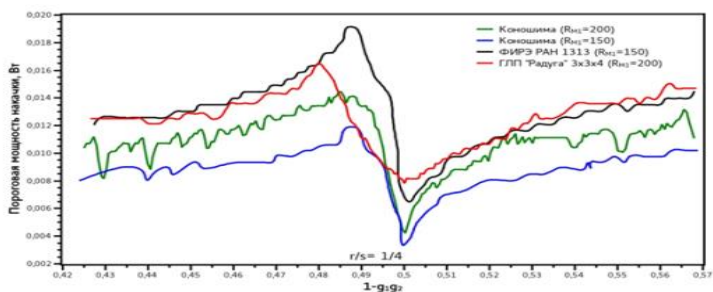


Рис. 1. Пороги генерации образцов керамики ФирЭ РАН, 2015 г., ФКП «ГЛП «Радуга» -2017 г. и Konoshima Chemical Co. Ltd., 32 - R=96%.

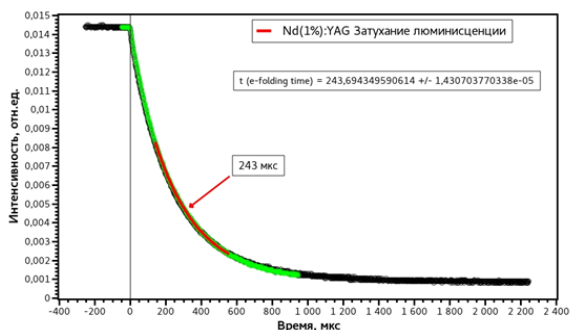


Рис. 2. Кинетика люминесценции керамики Nd (1%):YAG производства ФирЭ РАН. Время жизни лазерного уровня: 243 мкс.

Концентрация иона-активатора (Nd)		1%	2%	3%
Время жизни лазерного уровня, мкс	ФирЭ РАН	243	200	136
	Konoshima Chemical	234	174	-

Табл. 1. Время жизни лазерного уровня в Nd:YAG керамике ФирЭ РАН и Konoshima Chemical Co. Ltd.

Приведенные результаты сравнительных исследование генерационных характеристик лазерных керамик Konoshima

Chemical Corp. (Япония) и ФИРЭ РАН и «ФКП ГЛП «Радуга» в лазере с диодной накачкой демонстрируют, что с практической точки зрения их генерационные характеристики отличаются незначительно. Можно утверждать, что отечественная технология производства лазерной керамики, реализованная на ФКП «ГЛП «Радуга» в 2016-2017 гг. позволяет получать лазерную керамику, не уступающую лучшим мировым образцам.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН № П25.

Литература

1. Bezotosnyi V V, Cheshev E A, Gorbunkov M V, Koromyslov A L, Kostyukov P V, Krivonos M S, Popov Y M, Tunkin V G Laser Phys. Lett. 12 (2), 025001. (2015).
2. Bezotosnyi V V, Krokhin O N, Koromyslov A L Cheshev E A, Kopylov Y L, Kravchenko V B, Lopukhin K V, Tupizin I M Proceedings of V symposium on coherent optical radiation of semiconductor compounds and structures. Moscow-Zvenigorod, 23-26 November. (2015).
3. Kaminskii A A, Balashov V V, Demianova L, Kopylov Y L, Kravchenko V B, Lopukhin K V, Lyapin A A, Lysenko S L, Ryabochkina P A, Shemet V V, Optical Properties, Problems and Prospects. Proceedings of 11-th laser ceramics symposium LCS-2015 – International symposium on transparent ceramics for photonics applications, 30 Nov.- 4 Dec. Xuzhou, China pp 63-64. (2015)

АВ-INITIO ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ КАРБОНАТОВ И МЕТАСИЛИКАТОВ

Празян Т.Л.¹, Журавлев Ю.Н.¹

¹ Кемеровский государственный университет, Кемерово
+7(960)935-3075, Prazyan.tigran@yandex.ru

Вопрос обогащения угольных отходов является приоритетным направлением в решении проблемы об альтернативных источниках энергии и улучшении экологической ситуации. Так, методами рентгеновской дифракции было установлено, что в образцах шламов угледобычи наблюдаются следующие процентные соотношения содержания кварца, метасиликата магния и метасиликата магния-кальция соответственно: порядка 50% для первого, 10-15% для двух других, а также в меньшей доле обнаружены другие минеральные компоненты [1-3]. Шлам представляет из себя угольную пульпу размером меньше 0,75 мм. Угольные шламы получаются в результате процесса обогащения угля после технологических процессов: осадки, спиральных сепараторов, флотаций.

Исследование материалов методами компьютерного моделирования представляет большой интерес с точки зрения материальной затратности и прогнозирования дальнейших свойств. В настоящей работе исследование выполнено в рамках теории функционала электронной плотности DFT [4] в базисах локализованных орбиталей, градиентным приближением (GGA) обменным и корреляционным функционалом в варианте PBE [5] в пакете программ CRYSTAL'14 [6].

Исходя из полученных результатов показано, что имеет место зависимость модулей упругости и твердости от типа структуры, в которую кристаллизуются соответствующие минералы. В пределах группы кальцита характеристики увеличиваются с ростом плотности материала. Также ведут себя гексагональные кристаллы смешанного состава эвальдит и норсесит. Таким образом, для групп кальцита и кристаллов смешанного состава с ростом атомного номера катиона механические характеристики увеличиваются. Для группы арагонита, наоборот, модули с ростом плотности умень-

шаются, так что для витерита твердость по Виккерсу является минимальной для всего ряда карбонатов. Подобные зависимости наблюдаются и для сульфатов.

Установлено, что коэффициент Пуассона для изучаемых кремнийсодержащих минеральных компонент примерно одинаков. Объемный модуль, модуль сдвига, Юнга, а также микротвердость для метасиликата магния-кальция примерно в два раза меньше, чем для метасиликата магния и кварца. Самые большие значения для механических характеристик имеет метасиликат магния кроме коэффициента Пуассона – его значение наименьшее из всех приведенных.

Литература

1. J.-P. Wang. Theoretical and Experimental Insight into Coal Structure: Establishing a Chemical Model for Yuzhou Lignite. *Energy & Fuels*. Vol.31, N 1. P.124 (2016).
2. Т. Л. Празян, Ю. Н. Журавлев. Механические свойства углей. Фундаментальные и прикладные исследования в физике, химии, математике и информатике: материалы симпозиума в рамках XII (XLIV) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей: в 7 т. – Кемерово: Кемеровский государственный университет. Т.2. С.55 (2017).
3. S. V. Vasisilev. Relationships between chemical and mineral composition of coal and their potential applications as genetic indicators. Part 1. Chemical characteristics. *Geologica balanica*. Vol.39, N 3. P.21 (2010).
4. A. D. Becke. Density-functional thermochemistry. iii the role of exact exchange. *J. Chem. Phys.* B.98. P.5648 (1993).
5. J. P. Perdew. Generalized gradient approximation made simple. *Phys. Rev. Lett.* B.77. P.3865 (1996).
6. R. Dovesi. CRYSTAL14 User's Manual. (Torino: University of Torino. 2016).

МОДИФИКАЦИЯ КОМПАКТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Bi_2Te_3 - Bi_2Se_3 И Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 ИМПУЛЬСНОЙ ФОТОННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Росляков А. О., Погорелова М. А., Сериков Д. В., Дыбов В. А., Федорова Е. Н.

¹ *Воронежский государственный технический университет, Воронеж
89507505254, rap36@inbox.ru*

Эффективность термоэлектрических генераторных батарей помимо свойств полупроводника определяется величинами контактного сопротивления и адгезии на границе раздела полупроводник-металл, которые в значительной степени зависят от модификации поверхности термоэлектрического материала перед нанесением металлических слоев. Перспективным способом модификации поверхности материалов является импульсная фотонная обработка (ИФО)

Цель данной работы – установить закономерности фазовых и морфологических превращений, протекающих в приповерхностном слое и оценить механические свойства модифицированной поверхности полупроводниковых термоэлектрических ветвей n- и p-типа на основе твердых растворов Bi_2Te_3 - Bi_2Se_3 и Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 в результате ИФО.

В работе методами рентгеновской дифрактометрии, атомно-силовой микроскопии, растровой электронной микроскопии и наноиндентирования проведены сравнительные исследования фазового состава, морфологии и механических свойств полупроводниковых ветвей твердых растворов Bi_2Te_3 - Bi_2Se_3 и Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 , полученных горячим прессованием, после механической полировки абразивом P500 и ИФО излучением мощных ксеноновых ламп. Предельная длительность световых импульсов при ИФО составляла 1,3с и определялась температурой плавления полупроводниковых ветвей на глубине 0,5 мм, рассчитанной методом математического моделирования в рамках теории конечных разностей с учетом теплопроводности полупроводников.

Структура исходных полупроводниковых ветвей компактная, средний размер зерен около 5 мкм, твердость около 1,0 ГПа.

Установлено, что в результате механической полировки происходит повышение дисперсности зеренной структуры приповерхностного слоя (толщиной около 0,2 мкм) полупроводниковых ветвей: средний размер зерен в этой области составляет около 50 нм. Наноструктурирование приповерхностного слоя приводило к его упрочнению по сравнению с объемом: твердость приповерхностного слоя ветвей n-типа возрастает на 20% р-типа – на 10%.

Установлено, что в результате ИФО ветвей n-типа в вакууме происходит развитие рельефа поверхности (увеличение шероховатости поверхности и перепада высот более чем в 3,5 раза) и изменение фазового состава (перитектоидный распад $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ до интерметаллида $\text{BiTe}_{1-x}\text{Se}_x$) вследствие сублимации селена и теллура. ИФО поверхности ветвей в атмосфере Ag увеличивает шероховатость поверхности менее значительно (не более чем в 2 раза) и не приводит к изменению фазового состава ветвей. При этом происходит первичная рекристаллизация приповерхностного слоя ветвей с повышением дисперсности зеренной структуры. В результате ИФО ветвей p-типа в вакууме и аргоне также наблюдается развитие рельефа поверхности. При этом фазовый состав остается неизменным независимо от среды в реакционном объеме. ИФО приводит к исчезновению образующихся в результате механической полировки протяженных трещин по межзеренным границам и образованию субмикрокристаллических пор сферической формы

Определены режимы ИФО, приводящие к упрочнению (повышение твердости на 30-40%) приповерхностного слоя толщиной несколько мкм механически полированных полупроводниковых ветвей n- и p-типа при практически неизменной шероховатости поверхности.

Литература

1. V. M. Ievlev. Activation of solid-phase processes by radiation of gas-discharge lamps. P. 815-834 (2013)

ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ СО ЛАЗЕРА В КРИСТАЛЛЕ $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$

Сагитова А.М.^{1,2}, Бадиков В.В.³, Бадиков Д.В.³, Ионин А.А.¹,
Киняевский И.О.¹, Климачев Ю.М.¹, Козлов А.Ю.¹,
Котков А.А.¹, Можяева В.А.^{1,4}, Сеницын Д.В.¹

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
(ФИАН), Москва

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва

³ Кубанский государственный университет, Краснодар

⁴ Московский государственный университет геодезии и картографии
+7 (903) 730-15-02, adilya.sagitova@gmail.com

Одним из источников широкополосного излучения среднего ИК диапазона является СО лазер с преобразованием частоты излучения в нелинейных кристаллах. Например, на базе одного СО лазера и одного нелинейного кристалла ZnGeP_2 была разработана лазерная система, действующая одновременно как минимум на ~ 670 линиях в интервале длин волн от 2.5 мкм до 8.3 мкм [1].

Однако для подобного типа преобразования могут быть использованы и другие кристаллы. По нашим теоретическим оценкам наиболее эффективным для этого может быть кристалл $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ (BGGSe), в котором, перекачка мощности во вторую гармонику происходит на длине взаимодействия меньшей, чем в других кристаллах (ZnGeP_2 , GaSe и AgGaSe_2) [2]. Необходимо также отметить, что порог разрушения кристалла BGGSe в 2 – 4 раза выше.

Было проведено экспериментальное исследование генерации суммарных частот (ГСЧ) излучения СО лазера в новом нелинейном кристалле BGGSe при внутрирезонаторном варианте преобразования. При этом возможно использование кристалла даже без просветления рабочих граней благодаря тому, что его угол среза оптимален для преобразования многочастотного излучения СО лазера. Был использован импульсно-периодический СО лазер с ВЧ разрядом и модуляцией добротности резонатора, подробно описанный в работе [3], с помощью которого было ранее осуществлено внерезонаторное широкополосное преобразование в кристалле ZnGeP_2 .

На рис. 1 и 2 представлены спектры ГСЧ и излучения накачки кристалла (т.е. излучения СО лазера) при выходном зеркале с коэффициентом отражения $R \sim 90\%$ и при выходном зеркале – самом кристалле BGGSe ($R \sim 35\%$). Излучение накачки, выходящее из резонатора, было близко по числу линий и ширине спектра (от 4.9 до 6.0 мкм), хотя отличалось по средней мощности (31 мВт для первого случая и 166 мВт для второго). Но средняя мощность ГСЧ, была выше (0.8 мВт), а спектр был существенно шире (2.45 – 2.95 мкм) и богаче в первом случае благодаря запираанию большей доли излучения собственно СО лазера в резонаторе.

Работа поддержана грантом РНФ №16-19-10619.

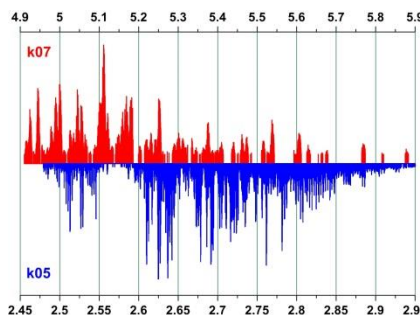


Рис.1. Сравнение спектров ГСЧ (к05) и накачки (к07) при выходном зеркале $R \sim 90\%$

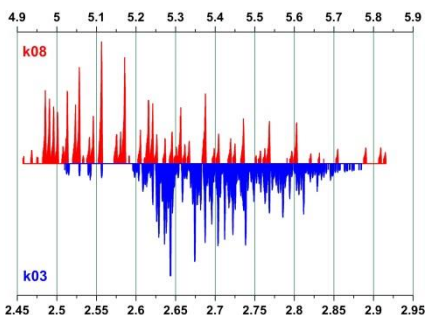


Рис.2. Сравнение спектров ГСЧ (к03) и накачки (к08), при выходном зеркале – самом кристалле BGGSe

Литература

1. Yu.M. Andreev, A.A. Ionin, I.O. Kinyaevskiy et al., *Quantum Electronics*, **43**, 139-143, (2013).
2. A.A. Ionin, I.O. Kinyaevskiy, V.A. Mozhaeva. Numerical analysis of CO laser frequency conversion efficiency in BaGa₂GeSe₆ crystal. *Laser Physics*, **28**, (2018).
3. A.A. Ionin, I.O. Kinyaevskiy, Yu.M. Klimachev, et al. Sum frequency generation under conversion of Q-switched cryogenic slab RF discharge CO laser radiation in ZnGeP₂. *Laser Physics*, **28**, (2018).

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Салихов Р.¹, Кудимов О.В.¹, Назаров Р.¹

Научный руководитель: д.т.н. Нагулин К.Ю.

¹ КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

89050233000., salikhov47@gmail.com

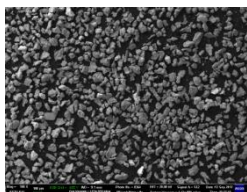
Повышение КПД и ресурса газотурбинных двигателей непосредственно связано с созданием эффективной теплозащиты рабочих поверхностей турбинных лопаток и других высокотемпературных элементов [1]. Одним из путей решения этой проблемы является нанесение теплозащитных керамических покрытий на основе ZrO_2 , стабилизированного диоксидом иттрия, который характеризуется низким коэффициентом теплопроводности λ ($0.6 - 1.3 \text{ Вт/(м}^{-1}\text{К}^{-1})$) и высоким для керамики коэффициентом линейного термического расширения α ($((6-13) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1})$), соизмеримым с соответствующими коэффициентами для жаропрочных сплавов на основе никеля и кобальта ($((15-17) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1})$).

Покрытие на основе ZrO_2 , наносят, как правило, методом дугового плазменного напыления [2], хотя также применяют магнетронное [3], ионно-плазменное [4] и электронно-лучевое [5] напыление. Наибольшее качество достигается при использовании сферических частиц, которые отечественной промышленностью не производятся. Ввиду санкционного запрета на поставку высококачественных зарубежных порошков ZrO_2 , освоение отечественной технологии их производства является крайне актуальной задачей.

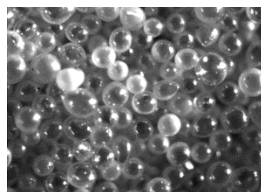
В качестве исходного сырья использовали порошок колото-го ZrO_2 , SEM - изображение образца которого приведено на рис.1а. Для сфероидизации применяли лабораторную плазмохимическую установку с мощностью разряда 40 кВт и частотой 5,2 МГц. Плазмообразующий газ – аргон.

Изображение полученных частиц в оптическом микроскопе представлено на рис.1б. Результаты проведенных сопоставительных исследований показали, что полученный сферичный отечественный порошок ZrO_2 по своим основным параметрам не уступает высококачественному импортному порошку Sulzer Metco 240С.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ договор №14.Z50.31.0023, а также в рамках Государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации, Задание № 9.3236.2017/4,6, Федеральной Целевой Программы №14.578.21.0245



(а)



(б)

Рис. 1 – Частицы порошка колотого ZrO_2 до (а) и после (б) его обработки

Литература

1. Phane, L. Plasma-sprayed ceramic thermal barrier coatings for Turbine vane platforms / L. Phane // Thin Solid Films. – 1990. – P. 455–461.
2. Каблов, Е.Н. Ионно-плазменные защитные покрытия для лопаток газотурбинных двигателей /Е.Н. Каблов, С.А. Мубояджян, С.А. Будиновский, А.Н. Луценко //Металлы. 2007. №5. С. 23-24
3. Будиновский, С.А. Современные способы нанесения теплозащитных покрытий на лопатки газотурбинных двигателей / Будиновский С.А., Чубаров Д.А., Матвеев П.В.//Авиационные материалы и технологии. 2014. №5. С. 38-44.
4. Будиновский, С.А. Ионно-плазменные жаростойкие покрытия с композиционным барьерным слоем для защиты от окисления сплава ЖС36-ВИ /Будиновский, С.А. Мубояджян, А.М. Гаямов, С.В. Степанова // МиТОМ. 2011. №1. С. 34-40.
5. Каблов, Е.Н. Жаростойкие и теплозащитные покрытия для лопаток турбины высокого давления перспективных ГТД / Е.Н. Каблов, С.А. Мубояджян // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 60-70.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ AISI, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Саяков А.К., Руденко С.О.

Восточно-Казахстанский Государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск
т.н. +77715485306, электронный адрес: alisher_1996_777@mail.ru

В данной работе были проведены исследования образцов из нержавеющей стали AISI 316L, полученных методом селективного лазерного плавления. Исследование микротвердости и микроструктуры, ЭДС анализ.

Микротвердость была исследована на микротвердомере DuraScan 20. Микроструктура и ЭДС анализ на РЭМ JSM-6390LV.

Таблица 1 – Химический состав

Марка	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
AISI 316L	$\leq 0,030$	$\leq 0,75$	$\leq 2,0$	$\leq 0,045$	$\leq 0,03$	16,0 - 18,0	10,0 - 14,0	2,0 - 3,0

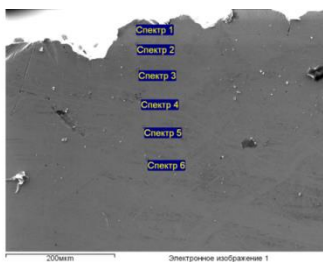


Рисунок 2 – Микрофотография поверхности с отметками точек ЭДС анализа

Проведено исследование микротвердости образца. Отклонение микротвердости в пределах погрешности прибора, что свидетельствует об отсутствии быстрых термодинамических процессов. По результатам ЭДС анализа, можно утверждать об относительном однородном составе сплавленного материала. Микроструктура об-

разца однородная, что позволяет сделать заключение о удачном подборе режимов селективного лазерного сплавления порошка.

Литература

1. Шишковский И.В. Перспективы быстрого прототипирования для изготовления моделей и литейных форм / И.В. Шишковский // Литейное производство. 2010. № 6. С. 23-29.
2. Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально – градиентных мезоструктур и объемных изделий / И.В. Шишковский. М.:Физматлит, 2009. 424 с.
3. Шишковский И.В. Использование селективного лазерного спекания в литье по выплавляемым моделям / И.В. Шишковский // Литейное производство. 1999. № 7. С. 19-22
4. Шишковский И.В. Лазерный синтез объемных изделий / И.В. Шишковский // Обзорный доклад на семинаре Отделения квантовой радиофизики ФИАН им. П.Н. Лебедева, декабрь 2009, Москва.
5. Кузнецов В. Системы быстрого изготовления прототипов и их расширения / В. Кузнецов // CAD/CAM/CAE Observer №4 (13) 2003.
6. Functional graded material synthesis via Direct Metal Deposition / I. Yadroitsev, I.V. Shishkovsky, P. Bertrand, I. Smurov // Proceedings of the Fourth International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing 2007, Munich, 18-22 June 2007. P. 16.
7. Назаров А.П. Перспективы быстрого прототипирования методом селективного лазерного спекания/плавления / А.П. Назаров // Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 4. Т. 1 (16). С. 46-51.
8. Окунькова А.А. Комплекс контроля геометрических параметров продукции термопластавтомата: разработка структурной схемы / А.А. Окунькова // Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 2. С. 75-79.
9. Рыбаков А.В. Решение задач технологической подготовки производства деталей, получаемых методом электроэрозионной проволочной обработки (на примере деталей пресс-форм в Pro/Engineer) / А.В. Рыбаков, А.А. Окунькова // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. №1 (21). С. 20-28.

ОСЦИЛЛЯТОРНАЯ МОДЕЛЬ Z-ПИНЧ ОБЖАТИЯ ПОЛОГО ПРОВОДНИКА С Т/Я ТОПЛИВОМ

Сексембаев Ж.Б.

¹ Евразийский Национальный Университет имени Л.Н.Гумилева, Астана
e-mail: jandos_s90@mail.ru

Использование Z-пинча в комбинации с мощным фемтосекундным лазером в роли поджигателя термоядерных процессов является актуальным для исследования проблем управляемого термоядерного синтеза [1]. Сегодня эксперименты на основе инерционного синтеза используют технологию обжатия топлива лазерным импульсом. Z-пинч сам по себе в основном используется отдельно в виде только магнитного обжатия и удержания. Также существует гибридные X-пинчи которые немного схожи по технической реализации с Z [2]. Комбинация инерционного и магнитного удержания плазмы в экстремальном состоянии, так называемое магнито-инерционное удержание (Magneto-Inertial Confinement Fusion), начато к реализации в некоторых лабораториях, но до сих пор нуждается в тщательном исследовании. Одной из основных этапов MICF является обжатие вдоль Z-оси и это послужило мотивацией для исследования нами процесса имплозии Z-пинча.

Обжатие Z-пинча уже было изучено с применением различных теоретических моделей описания [3]. Для оценочных расчетов параметров имплозии в данной работе мы выдвигаем нашу осцилляторную модель. Основой модели является решение уравнения:

$$F_{drive} = F_{internal} - F_{magnetic} \quad (1)$$

где F_{drive} - сила действующая на периферию проводящей оболочки пинча, $F_{internal}$ - сила сопротивления обжатию за счет внутреннего давления вещества внутри проводящей оболочки, $F_{magnetic}$ - сила обжатия магнитным полем, индуцированным за счет пропускания большого тока через проводящую оболочку.

В силу зависимости величин в (1) от значения радиуса пинча, уравнение сводится к осцилляционному. Производя некоторые математические выкладки приходим к уравнению описывающему процесс имплозийного обжатия Z-пинча.

С учетом полученных выражений проведены численные расчеты поведения обжимаемой магнитным полем системы с использованием данных из [1, 2]. Получено время квазистагнации равное 0,6 нс, что по сравнению со временем процесса 200-300 нс является относительно мгновенным и оправдывает предположения, выдвинутые в аналитических выкладках при расчетах параметров имплозии. Результаты могут быть использованы при моделировании поведения подобных систем.

Литература

1. В.Т. Ворончев, В.И. Кукулин. Реализация термоядерного процесса в D^3He - 9Be -плазме на основе Z-пинча со сверхбыстрым лазерным поджигом. *Ядерная Физика* **73** №1, с.41-61, (2010)
2. Т.А. Шелковенко, *et.al.* Динамика гибридных X-пинчей. *Физика Плазмы* **41** № 1, 54–72, (2015)
3. M.G. Haines. A review of the dense Z-pinch. *Plasma Phys. Control. Fusion*, **53** 093001, (2011)

ВЛИЯНИЯ МЯГКОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ПРОПАНА НА АДГЕЗИЮ И СВОЙСТВА АМОРФНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ГЕРМАНИИ

Семерикова А.И.¹, Золкин А.С.^{1,2}

¹ *Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

² *Специализированный учебно-научный центр Новосибирского государственного университета, Новосибирск
8 (383) 363 41 82, zolkinas@gmail.com*

Введение. Применение аморфных углеродных гидрогенизированных (а-С:Н) покрытий для защиты и просветления внешних поверхностей германиевой оптики является актуальной задачей и требует высокой адгезии [1]. Использование имплантации ионов углерода с энергией до 20 кэВ приводит к улучшению адгезии покрытий на металлических подложках [2]. С целью повышения адгезионной прочности покрытий на германии, синтезируемых из ионных пучков, мы предлагаем метод мягкой имплантации ионов пропана с энергией до 5 кэВ для формирования промежуточного слоя.

Цель работы – исследовать влияние мягкой имплантации ионов пропана на адгезионную прочность, твердость и структуру а-С:Н пленок на германии.

Методика. Синтез покрытий происходил из ионного источника с азимутальным дрейфом электронов. Рабочий газ – пропан. Применили три режима напыления: (А) пленки осаждались из ионных пучков с максимальной энергией до 1 кэВ; (В) адгезионный слой формировался ионами с максимальной энергией до 5 кэВ, затем энергия пучка уменьшалась до 1 кэВ; (С) пленки напылялись из ионных пучков с максимальной энергией до 5 кэВ. Моделирование процесса мягкой имплантации проводили с помощью программы SRIM TRIM. Твердость и адгезию покрытия определяли методом наноиндентирования и царапания с переменной нагрузкой на сканирующем нанотвердомере «НаноСкан-3D».

Результаты и обсуждение. Применение режимов В и С привело к улучшению адгезии покрытия: отрыв пленки не происходил при многократном царапании с максимальной нагрузкой 50 мН (рис.

1(а)). Моделирование профилей распределения имплантированных ионов углерода в германии подтверждают, что с ростом энергии от 0,5 до 5 кэВ средняя глубина проникновения ионов C^+ возрастает от 3 до 16 нм (рис. 1(б)). Часть имплантированных ионов может образовывать химическое соединение карбида германия.

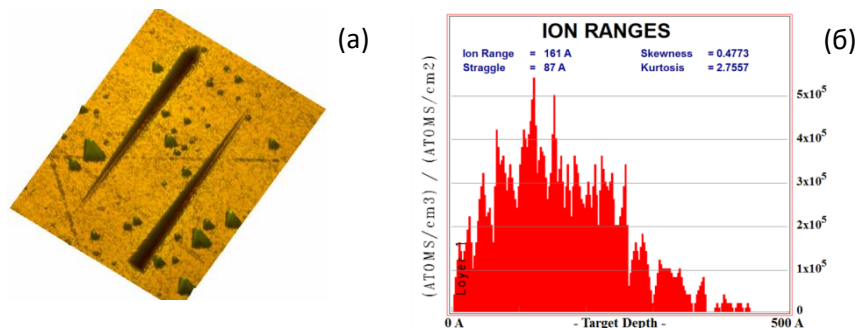


Рис. 1. (а) AFM изображение покрытия после царапания, (б) моделирование профиля распределения имплантированных атомов углерода с энергией 5 кэВ в германий.

Выводы. Установлено, что формирование адгезионного подслоя ионным пучком из C_3H_8 с относительно высокой энергией до 5 кэВ способствует увеличению адгезионной прочности напыляемого покрытия не хуже чем в пять раз, согласно результатам моделирования средняя глубина проникновения ионов возрастает до 16 нм.

Работа выполнена при поддержке проекта СAE НГУ «Нелинейная фотоника и квантовые технологии».

Литература

1. K. Ankit, V. Ashish, R. K. Niranjana, et al. Synthesis of high hardness IR optical coating using diamond-like carbon by PECVD at room temperature. *Diamond & Related Materials*. Vol. 78. P. 39-43 (2017).
2. Y. Oka, M. Nishijima, K. Hiraga, M. Yatsuzuka. Effect of ion implantation layer on adhesion of DLC film by plasma-based ion implantation and deposition. *Surface and Coatings Technology*. Vol. 201. Issue 15. P. 6647-6650 (2007).

ИЗОВАЛЕНТНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ ИОНОВ Bi^{3+} НА ИОНЫ Ce^{3+} И Pr^{3+} В СОЕДИНЕНИИ BiCuSeO

Сергиенко И.А.¹, Новицкий А.П.¹, Воронин А.И.¹, Ховайло В.В.¹

¹ НИТУ «МИСЦ», г. Москва
+79258739154, sergienko208@gmail.com

Термоэлектрические материалы позволяют напрямую преобразовывать тепловую энергию в электрическую. Термоэлектрическая эффективность zT (1) - безразмерная величина которая определяется как:

$$zT = \frac{\alpha^2 \sigma}{\kappa} \cdot T \quad (1)$$

где α , σ , κ и T - коэффициент термоЭДС, электропроводность, теплопроводность и абсолютная температура, соответственно.

Оксиселениды BiCuSeO – термоэлектрические оксидные материалы, способные преобразовывать тепловую энергию в электрическую в интервале температур от 600 до 900 К [1]. Соединения данного типа обладают относительно высоким значением коэффициента термоЭДС и низкой теплопроводностью, что обеспечивает высокие значения термоэлектрической эффективности. В работе [2] было показано, влияние изовалентного замещения ионов Bi ионами РЗМ элементов в частности La на зонную структуру.

В данной работе исследовалось влияние изовалентного замещения ионов Bi^{3+} ионами Ce^{3+} и Pr^{3+} . Однофазный объемный образец $\text{Bi}_{1-x}\text{R}_x\text{CuSeO}$ где $\text{R} = \text{Pr}$; Ce , $x = 0,02$; $0,04$; $0,06$; $0,08$ был получен с помощью двухступенчатого твердофазного синтеза и спекание порошков с помощью искрового плазменного спекания. Результаты измерений будут представлены в докладе.

Литература

1. Liu Y. et al. Enhanced thermoelectric performance of La-doped BiCuSeO by tuning band structure // *Applied Physics Letters*. – 2015. – Т. 106. – №. 23. – С. 233903.
2. Zhao L. D. et al. BiCuSeO oxyselenides: new promising thermoelectric materials // *Energy & Environmental Science*. – 2014. – Т. 7. – №. 9. – С. 2900-2924.

ВЛИЯНИЕ ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА НА ЗАТУХАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ 2D НАНОКРИСТАЛЛОВ CdTe

Сизов В.С.¹, Селюков А.С.^{2,3}, Горелик В.С.^{1,3}, Васильев Р.Б.⁴

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

² МФТИ (ГУ), Долгопрудный

³ ФИАН им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

⁴ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

тел.: 8-985-255-77-89, e-mail: sevka_98@mail.ru

Время жизни возбужденных состояний в нанокристаллах при спонтанном излучении, как правило, составляет единицы-десятки наносекунд. Это соответствует достаточно низким частотам повторения 100-1000 МГц, что связано с малым размером эмиттеров и низкой плотностью фотонных состояний в свободном пространстве. Это накладывает определенные ограничения на применение нанокристаллов, например, для создания лазеров, поскольку Оже-рекомбинация в них увеличивает характерные времена релаксации и не позволяет достичь низкого порога лазерной генерации. Предполагается, что при использовании фотонного кристалла плотность фотонных состояний в окрестности нанокристаллов можно повысить, уменьшив тем самым время их спонтанного излучения.

Целью работы являлось изучение влияния фотонного кристалла на затухания фотолюминесценции 2D нанокристаллов CdTe.

Для 2D нанокристаллов CdTe был получен спектр их излучения при оптическом возбуждении (Рис. 1а, кривая 1). Длина волны межзонной фотолюминесценции нанокристаллов составила 501 нм. Спектр отражения широкополосного излучения глобулярным фотонным кристаллом (а-SiO₂, кремнезем) представлен на Рис. 1а (кривая 2), положение центра первой стоп-зоны соответствует ~ 504 нм. По нашим оценкам, период фотонного кристалла составил ~ 250 нм, а диаметр глобул – ~200 нм. Таким образом, с учетом характерного латерального размера плоских наночастиц (~100 нм) [1] было возможно лишь расположить их на поверхности фотонного кристалла, получив, таким образом, открытый резонатор.

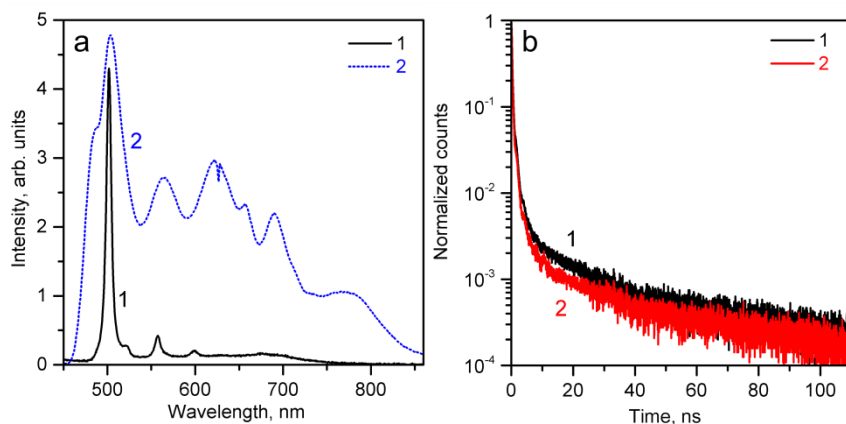


Рис.1. а – спектры фотолюминесценции 2D нанокристаллов CdTe (1) и отражения фотонного кристалла (2); б – кривые затухания фотолюминесценции 2D нанокристаллов CdTe без фотонного кристалла (1) и с ним (2).

При изучении кривых затухания люминесценции 2D нанокристаллов CdTe, полученных в максимуме их межзонной люминесценции (Рис. 1б) было обнаружено, что использование фотонного кристалла в качестве подложки, на которую наносились наночастицы, приводит к видимому «ускорению» кривой затухания люминесценции нанокристаллов, которое можно объяснить возникновением эффекта Парселла в открытом резонаторе. Для достижения существенного ускорения релаксации люминесценции необходимо более точно совместить её максимум с краем стоп-зоны, для чего можно в будущем использовать одномерные фотонные кристаллы на основе пористых пленок анодного алюминия.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18-02-00653 А, 17-32-80050 мол_эв_а и 16-29-11805 офт_м.

Литература

1. A.G. Vitukhnovsky et al. Photoluminescence of CdTe colloidal quantum wells in external electric field. Journal of Luminescence. Vol.186. P.194-198 (2017).

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНОЙ НАНОСТРУКТУРЫ $(\text{Mg/NbO})_{82}$ ОТ ТОЛЩИНЫ МАГНИЕВЫХ СЛОЕВ

Смирнов А.Н., Стогней О.В.

Воронежский Опорный университет (ВГТУ), Воронеж

В работе изучено влияние термического отжига на фазовые превращения в многослойных наноструктурах Mg/NbO в зависимости от толщины слоёв магния. Многослойная структура $(\text{Mg/NbO})_{82}$ (индекс 82 означает количество бислоёв) была получена методом ионно-лучевого распыления оксидной (NbO) и металлической (Mg) мишеней с последующим осаждением материала на подложки, вращающиеся вокруг мишеней. Магний напылялся на подложки через V-образный экран, в то время как оксид ниобия осаждался без использования экрана, поэтому полученные многослойные образцы отличались друг от друга толщиной слоёв магния. Толщина слоев оксида ниобия во всех случаях составляла примерно 0,96 нм [1].

Установлено, что отжиг, проводимый при 450 °С, не приводит к разрушению многослойной структуры в исследованных образцах, однако, способствует фазовым превращениям в слоях многослойных пленок. Исследованы температурные зависимости сопротивления образцов с разной толщиной слоя магния и установлено, что характер зависимости определяется толщиной магниевых прослоек. Для образцов с толщиной магния от 2 до 3 нм температурная зависимость сопротивления (рис. 1) подобна аналогичным зависимостям, полученным для композитов.

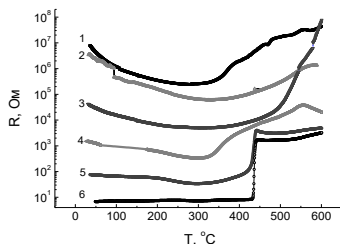


Рис. 1 – Температурная зависимость сопротивления многослойной структуры $(\text{Mg/NbO})_{82}$ с различной толщиной бислоя: 1 - 2,3 нм; 2 - 2,5 нм; 3 - 2,8 нм; 4 - 3,4 нм;

При увеличении толщины магния до 4 - 6 нм, наблюдается резкий и значительный рост сопротивления образцов при температуре 430 °С (рис.1). Предполагается, что увеличение электросопротивления при нагреве связано с окислением проводящих магниевых слоев. Наличие сравнительно высокой проводимости в этих образцах при более высокой температуре (450 - 550 °С) по всей видимости обусловлено проводимостью через слои, содержащие гранулы чистого ниобия, восстановленные из оксида ниобия в результате термического отжига. Предполагается, что при нагреве нестехиометричный оксид ниобия начинает разлагаться и освобожденный кислород захватывается химически более активным магнием, образуя соответствующий оксид. Формирование ниобия подтверждается рентгеноструктурным анализом. Несмотря на восстановление ниобия, сопротивление образцов составляет большую величину (~ 10 кОм). Это свидетельствует о том, что образовавшийся ниобий представляет собой отдельные металлические гранулы в матрице диэлектрика, поэтому проводимость через эти слои является неметаллической. Таким образом, после высокотемпературного отжига структура многослойной системы Mg/NbO претерпевает значительные изменения, которые влияют на электрические свойства системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-02-05920).

Литература

1. Стогней О.В., А.Н. Смирнов, А.В. Ситников Получение многослойных образцов Mg/NbO Вестник ВГТУ. - 2016. - Т. 12- № 6. - С. 18 – 23.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ АБЛЯЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ

**Смирнов Н.А.¹, Настулявичус А.А.¹, Данилов П.А.¹, Кудряшов
С.И.,^{1,2} Ионин А.А.¹.**

¹ Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Москва

² «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики», Санкт-Петербург
+79653194430, сна1992@mail.ru

Пороговая плотность энергии для абляции поверхности материалов лазерными импульсами является одним из ключевых параметров лазерной обработки [1]. Кремний получил большое распространение в опто- и микроэлектронике благодаря своим уникальным свойствам. Это обусловлено особой точностью обработки поверхности материала, которой обладают лазерные ультракороткие импульсы.

Цель работы заключалась в проведении лазерной абляции поверхности кремниевой пластины с варьируемой длительностью импульса для получения порогов их абляции. Лазерное облучение участков поверхности мишени кремния осуществлялось одиночными импульсами волоконного лазера Satsuma (Amplitude Systems) с активной средой на ионах Yb с длиной волны основной гармоники 1030 нм и с удвоением частоты -515 нм [2]. Длительность импульсов варьировалась с помощью выходного компрессора в интервале 0.3-3.6 пс. Излучение фокусировалось объективом с числовой апертурой 0.25 в фокальное пятно размером (1/е-диаметр) 4 мкм. Профиль кратеров была получен с помощью сканирующего зондового микроскопа. Затем были построены зависимости глубины кратера от плотности энергии для разных длительностей.

Литература

1. O. Efimov, S. Juodkazis, and H. Misawa, Phys. Rev. A 69, 042903 (2004).
2. И.А. Артюков, Д.А. Заярный, А.А. Ионин, С.И. Кудряшов, С.В. Макаров, П.Н. Салтуганов, Письма в ЖЭТФ, т.99, вып.1(2014).

АВТОИНТЕРКАЛИРОВАННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

Смирнова Д.А.¹, Морилова В.М.², Беленков Е.А.¹

¹ *Челябинский государственный университет, Челябинск*

² *Снежинский физико-технический институт - филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Снежинск
+7 (351) 7997117, smirnova.da@gmail.ru*

Структура автоинтеркалированных углеродных соединений формируется в результате взаимного вложения углеродных структурных элементов, состоящих из углеродных атомов связанных ковалентными связями, так что связи между этими структурными элементами осуществляются ван-дер-ваальсовыми связями. Примером таких соединений являются экспериментально синтезированные многослойные углеродные нанотрубки, многослойные фуллерены, пиподы и др. [1-3]. Теоретически предсказана возможность еще большего разнообразия аналогичных соединений, структурными элементами которых могут выступать различные углеродные наноструктуры фуллерены, нанотрубки и графеновые слои.

В данной работе теоретически исследована структура гипотетических автоинтеркалированных соединений на основе графена L_6 . Расчеты геометрически оптимизированной структуры были выполнены хорошо апробированным на углеродных материалах методом молекулярной механики [3,4]. Первичная структура слоев была построена в результате взаимного вложения двух стопок графеновых слоев плоскости которых взаимно перпендикулярны друг другу. Расчет структуры выполняли для двух структурных $2L_6$ и $4L_6$ разновидностей отличающихся расстоянием слоев графена в стопках. Оценка устойчивости фаз была произведена в результате сравнительного анализа рассчитанных значений энергии атомизации автоинтеркалированных фаз и отдельного слоя гексагонального графена. Оказалось, что максимальная энергия атомизации у изолированного графенового слоя L_6 . Энергии сублимации автоинтер-

калированных фаз и соответственно их устойчивость тем выше, чем больше расстояние между слоями графена в стопках.

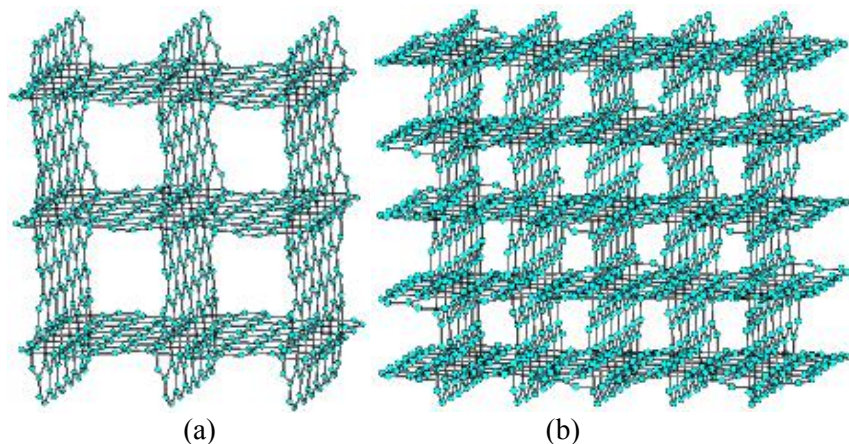


Рис.1. Геометрически оптимизированная структура фрагментов автоинтеркалированных соединений на основе гексагональных слоев графена: (a) $4L_6$; (b) $2L_6$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

Литература

1. Е.А. Беленков, Ф.К. Шабиев. Структура углеродных нанотрубок, содержащих цепочки из углеродных атомов. Известия Челябинского научного центра УрО РАН. № 4(30). С. 34-39 (2005).
2. Е.А. Беленков, Ф.К. Шабиев. Структура новых углеродных фаз из карбиновых наноколец. Кристаллография. Т.52(2). С.359-364 (2007).
3. Е.А. Беленков. Закономерности структурного упорядочения многослойных углеродных нанотрубок. Известия Челябинского научного центра УрО РАН. № 1. С. 51-60 (2001).
4. Э.И. Беленкова. Адсорбция атомов Li в нанокристаллическом углероде. В книге: Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники. Уфа: БашГУ, С. 224 (2016).

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ПУЧКОВ ЛАГЕРРА-ГАУССА

Соколенко Б.В.¹, Полетаев Д.А.², Присяжнюк А.В.¹

¹ *Кафедра общей физики Физико-технического института, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь*

² *Кафедра радиофизики и электроники Физико-технического института, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь
89787798968, e-mail simplex@crimea.edu*

Уникальные свойства оптики сингулярных пучков, преобразующих Гауссов пучок в вихревой, находят широкое применение в различных оптических устройствах для захвата, перемещения и угловой ориентации микрочастиц [1]. Последние значимые достижения в исследованиях были реализованы в отношении практического применения вихревых пучков, в частности в микроскопии [2].

В настоящем исследовании, мы ограничим наше внимание на интерферометрии эволюции фазы световых пучков Лагерра-Гаусса, переносящих оптический вихрь. Данная технология позволяет производить измерения толщин и топологии поверхности образцов без прямого контакта с объектом неразрушающим способом с высокой точностью, избежав при этом возмущений и условий, вызывающие нестабильность интерференционной картины.

Рассмотрим распространение параксиального пучка вдоль оси z , как показано на рисунке 1 (а), поперечная компонента напряженности вектора электрического поля в таком случае E_x будет иметь волновое число $k_x = nk_o$, где k_o – волновое число в вакууме, $n = \sqrt{\varepsilon}$ – показатель преломления среды материала исследуемого изотропного образца. Таким образом, основными параметрами, применяемыми для вихревой микроскопии, будут являться: W_o – радиус перетяжки, z – толщина изучаемого образца n – коэффициент диэлектрической проницаемости для прозрачных материалов, что определяет оптическую и геометрическую разность хода.

Алгоритм быстрого восстановления фазы вихревого пучка по полученным изображениям интерферограмм с помощью ПЗС-матрицы использован по описанной процедуре в работе [2]. Для получения интерференции опорного и предметного пучков, использовалась схема неравноплечего интерферометра Маха-Цендера, фрагмент установки которого представлен на рисунке 1 (б). Результат интерференции фиксировался в двух режимах. Тонкие резкие полосы интерференции с характерной «вилкой», соответствующей оптической сингулярности, фиксировались камерой и обрабатывались методом быстрого Фурье-преобразования [3].

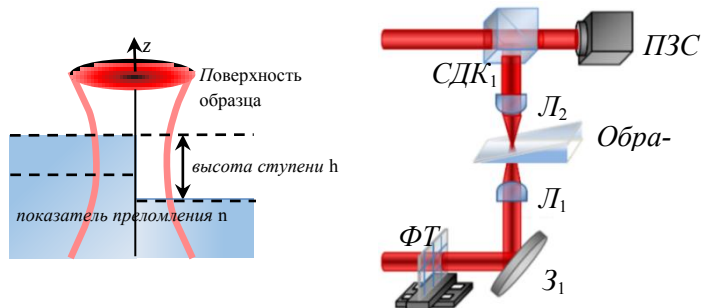


Рис. 1. Распространение сингулярного пучка через фазовую ступень (а); Часть экспериментальной установки, основанной на интерферометре Маха-Цендера (б): ПЗС – камера светочувствительная, Л1, Л2 – линзы, З1 – зеркало, СДК1 – светоделительный куб, ФТ – фазовый транспарант

Литература

1. M. S. Soskin, M. V. Vasnetsov. Singular Optics. Progress in Optics Vol.42. P.219–276 (2001).
2. A. Popiolek-Masajada, B. Sokolenko, I. Augustyniak, J. Masajada, A. Kohoroshun, M. Bacia. Optical vortex scanning in an aperture limited system. Opt. Lasers Eng. Vol.55. P.105–112 (2014).
3. A. Popiolek-Masajada, J. Masajada, P. Kurzynowski. Analytical Model of the Optical Vortex Scanning Microscope with a Simple Phase. Object Photonics. Vol.4. P.38 (2017).

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПОРТАТИВНОГО НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С СВЧ ИСТОЧНИКОМ ИОНОВ

Степанов Д.С., Школьников Э.Я.

НИЯУ МИФИ, г. Москва

8-903-012-31-58, DSStepanov@mephi.ru

В последние годы значительно расширяется сфера использования портативных нейтронных генераторов, а также технологий на их основе. Вместе с этим повышаются требования к эксплуатационным и техническим характеристикам данных устройств. В этой связи появляется задача разработки их нового поколения, представляющего собой нейтронные генераторы на основе СВЧ источника ионов с использованием эффекта электронно-циклотронного резонанса.

Предыдущие работы рассматривали СВЧ разряд в источнике ионов при электронно-циклотронном резонансе [1] и физические процессы в ионно-оптической системе нейтронного генератора [2]. На основе этих работ был проведен ряд инженерных расчетов и с их помощью разработана CAD модель портативного нейтронного генератора с СВЧ источником ионов, представленная на рис. 1

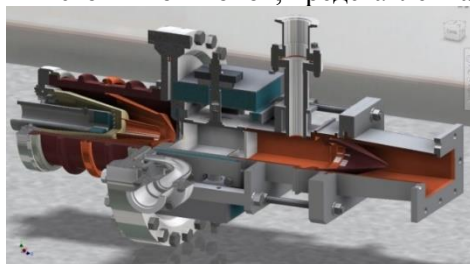


Рис. 2. CAD модель портативного нейтронного генератора с СВЧ источником ионов

Основу нейтронного генератора составляет призматический СВЧ резонатор на частоте 2.45 ГГц, крепящийся на несущем фланце, энергия в который поступает через прямоугольный волновод со специальным вакуумным СВЧ окном. В волноводную секцию монтируется вакуумная арматура, через которую поступает молекулярный дейтерий. Циклотронный резонанс обеспечивается систе-

мой постоянных магнитов, устанавливаемых вокруг резонатора, вместе с системой подстройки. Откачивание системы вакуумным насосом до давления 10^{-3} Торр происходит через отверстие в несущем фланце. На противоположную сторону фланца монтируется ионно-оптическая система с мишенным узлом. Вытягивающий электрод находится под потенциалом -45 кВ, а мишень с ускоряющим электродом под потенциалом -100 кВ. За мишенным узлом, вне вакуумного объема, располагается система магнитов, подавляющая вторично-электронную эмиссию с поверхности мишени. В магнитную систему также интегрирована система водяного или воздушного охлаждения.

Ключевым параметром, определяющим генерируемый нейтронный поток, является извлекаемый из ионного источника дейтронный ток. Большое значение ионного тока влечет за собой сильное тепловыделение на нейтронообразующей мишени, которое может вывести ее из строя. Согласно [3] рабочая температура мишени не должна превышать 250 – 300 °С. В этой связи был проведен ряд теплотехнических расчетов режимов охлаждения мишени. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ по соглашению № 14.575.21.0169 (RFMEFI57517X0169).

Литература

1. Д.С. Степанов, М.А. Горбунов, А.В. Чеботарев, Э.Я. Школьников, СВЧ разряд в источнике ионов водорода. V Межд. молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий». 18 – 23 апреля, 2016, Москва
2. Д.С. Степанов, А.В. Агафонов, Э.Я. Школьников, Подавление вторичных электронов в ионно-оптической системе нейтронной трубки. VI Межд. молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий». 17 – 21 апреля, 2017, Москва
3. Л.Б. Беграмбеков, А.А. Гордеев, С.С. Довганюк, А.М. Захаров, А.С. Каплевский. Разработка многослойных мишеней нейтронных трубок. II Межд. конф. “Плазменные, лазерные исследования и технологии”. 25 – 27 января, 2016, Москва.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФИЛАМЕНТАЦИИ ФЕМТО-СЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Тарасова М.А.¹, Хорьков К.С.¹, Кочуев Д.А.¹, Иващенко А.В.¹

*Владимирский государственный университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир
tel.: +79209032754, e-mail: trsvmargarita@gmail.com*

В настоящее время активно изучаются эффекты нелинейной оптики, в том числе явление филаментации. Технологии с применением филаментации применяются в области микрообработки материалов. Поэтому целью данной работы является экспериментальное изучение явления филаментации при взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов с прозрачной средой, измерение параметров филаментов, а именно длины филамента и распределения интенсивности в поперечном профиле пучка.

Явление филаментации заключается в пространственно-временной локализации энергии в мощном лазерном импульсе под действием самофокусировки в среде [1]. Филаментация фемтосекундного лазерного излучения возможна при сочетании двух условий: высокой мощности, необходимой для проявления самофокусировки, и сверхкороткой длительности излучения, при которой не успевают развиться тепловые эффекты [2].

В качестве источника лазерного излучения использовалась фемтосекундная лазерная система со следующими параметрами: $\lambda = 1029$ нм, $\tau = 280$ фс, $f = 10$ кГц. Образец – кварцевое стекло КУ–1.

Фокусировка лазерного излучения в образце приводит к формированию плазменных каналов (филаментов). Увеличение мощности приводит к росту их протяженности (рис. 1). Экспериментальное значение критической мощности, при которой начинается развиваться филаментация, составило 5 мВт. Расчетное значение критической мощности составило 8 мВт. Данное расхождение не является критичным, т. к. при расчете предполагаются идеальные условия.

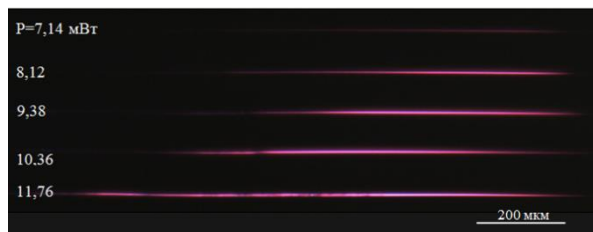


Рис.1. Динамика роста филаментов в кварце КУ–1 в зависимости от мощности

Использование в экспериментах цилиндрической оптики позволяет сформировать массивы филаментов, распространяющихся в одной плоскости. При этом происходит перераспределение интенсивности в поперечном профиле пучка (рис. 2).

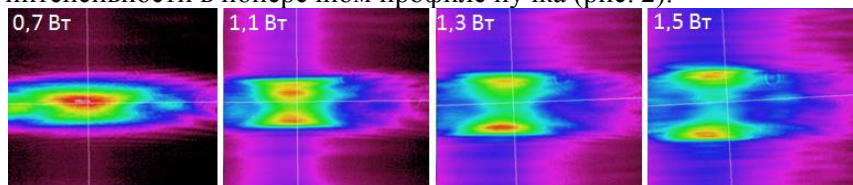


Рис.2. Распределение интенсивности в поперечном профиле пучка при различных значениях мощности

Таким образом, проведенные исследования распространения филаментов позволяют формировать заданное распределение интенсивности в поперечном профиле пучка, что представляет собой интерес в практическом применении, например, для микрообработки деталей.

Литература

1. Кандидов В.П., Шленов С.А. и др. Филаментация мощного фемтосекундного лазерного излучения. Квантовая электроника. Т. 39. №3. С.205–228 (2009).
2. Чекалин С. В., Кандидов В. П. От самофокусировки световых пучков-к филаментации лазерных импульсов. Успехи физических наук. Т. 183. №.2. С.133-152 (2013).

СТАРЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ В МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Теребинова О.Н.

*Самарский национальный исследовательский университет имени
ак. С.П. Королева*

89277108040 ,olgaterebinova@gmail.com

О влиянии магнитного поля на свойства “магнитных материалов” известно уже давно. Возможность значительного изменения макрохарактеристик “немагнитных” твердых тел (пара- и диамагнетиков, характеризующихся разупорядоченной магнитной структурой) в магнитном поле совсем не очевидна и часто подвергается сомнению, несмотря на значительное число публикаций, в которых описываются разнообразные “магнитные” эффекты в них. Для изучения влияния ПМП на процесс распада пересыщенного твердого раствора использовали образцы из бериллиевой бронзы БрБ-2 следующего состава:

Элемент	Содержание в сплаве, вес. %
Cu	97,49
Be	2,08
Ni	0,31
Примеси не более	
Si	0,09
Al	0,01
Mg	0,02
Fe	н/обн (<0,001)

Бериллиевая бронза обладает высоким пределом прочности, пределом текучести, циклической прочностью, большим

сопротивлением усталости. Особо следует отметить хорошие пружинные свойства бронзы и малый ее гистерезис.

Особенностью бериллиевой бронзы является широкий диапазон в изменениях механических, физических и технологических свойств при термообработке. При рабочих температурах 200 °С бронза длительное время сохраняет высокую прочность, электропроводность и теплопроводность и очень малую магнитную восприимчивость.

Результаты данной работы показывают, что значительное понижение температуры закалочной среды до -79,8 °С не дает значительного выигрыша в изменении микротвердости сплава БрБ-2, в тоже время закалка в среду 2 с температурой 0 °С приводит к более высокому значению магнитоэластического эффекта. Повышение температуры закалочной среды до 20 °С (стандартная методика закалки) и до 100 °С дает одинаковую величину магнитоэластического эффекта. Остается непонятным различие в значениях микротвердости при 20 °С полученных в данной работе.

Литература:

1. Моргунов Р.Б. Спин- зависимые реакции между дефектами структуры и их влияние на пластичность кристаллов в магнитном поле // Вестник РФФИ. – 2003. – №2(32). – С. 19–46.
2. Головин Ю.И. Магнитоэластичность твердых тел // Физика твердого тела. – 2004. – Т.46. – В.5. – С. 769–803.
3. Осинская Ю.В. Кинетика старения бериллиевой бронзы БрБ-2 в постоянном магнитном поле: автореф. диссертации на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук. – Самара. – 2003. – С. 17

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА

Толмачёва Н.С.

8-910-412-17-71, tniserg@gmail.com

Актуальность темы

В последние годы развитие и автоматизация метода дифракции отраженных электронов (EBSD - Electron Backscattering Diffraction) дает возможность получать большое количество измерений размеров отдельных зерен и их кристаллографических ориентаций [1]. Метод EBSD, в отличие от рентгеновского и нейтронного экспериментов, предоставляет исследователям данные о пространственном распределении отдельных зерен и их ориентировок. Пространственное расположение зерен и значение их ориентаций дает доступ к исследованию большого спектра особенностей микроструктуры и макроструктуры материала [2].

Развитие электронной микроскопии позволяет получить более полную характеристику микроструктуры (размеры и форма зерна, зеренные границы и границы фаз и т.д.) для изучения физических и химических свойств материала [3].

В [4,5] рассмотрен метод математического моделирования поликристаллического образца и EBSD эксперимента, который позволяет сравнивать характеристики, вычисляемые по результатам эксперимента, с характеристиками модельного образца. При этом в работах [4,5] моделирование зеренной структуры поликристаллического образца осуществляется по радиусам кругов, аппроксимирующих сечения зерен при проведении EBSD эксперимента.

Цель работы

В настоящей работе предлагается уточнение модели зеренной структуры материала, более адекватное проведению EBSD эксперимента. Предлагается моделирование зеренной структуры поликристалла по сечениям эллипсов. По заданным законам распределения параметров эллипса вычисляется закон распределения его сечения. Методом Монте-Карло получены численные результаты. Результаты моделирования согласуются с данными, полученными для разных сталей (рис. 1, 2).

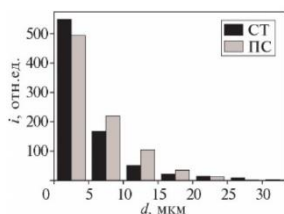


Рис. 1. Частотные диаграммы размеров зерен стали (экспериментальные данные).

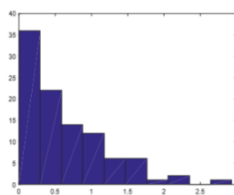


Рис. 2. Гистограмма длин хорд эллипсов (получена методом Монте-Карло).

Практическая значимость

Приведенные расчеты могут быть использованы при обработке данных EBSD эксперимента для изучения структуры зерен образца.

Литература

1. Варюхин В.Н., Пашинская Е.Г., Завдовеев А.Б., Бурховецкий В.В. Возможности метода дифракции обратнорассеянных электронов для анализа структуры деформированных материалов. Киев. Наумкова Думка. 2014г. 104с.
2. HKL technology software channel 5 www.hkltechnology.com.
3. Готтштайн Г. Физико-химические основы материалов. М.БИНОМ. Лаборатория знаний. 2009. 400с.
4. Антонова А.О., Савёлова Т.И. Оценка погрешностей вычисления характеристик текстуры поликристаллов путем измерения параметров измерений методами электронной микроскопии. Журнал вычислительной математики и математической физики. 2015, т55, №2, с. 322-334.
5. Антонова А.О. Влияние параметров EBSD эксперимента на достоверность вычисления текстурных характеристик поликристаллического материала. Диссертация на соискание ученой степени к.ф.м.н. НИЯУ МИФИ, 2017, 148с.

ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ПЕЧАТЬ ПЛАЗМОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРИРОВАННЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

**Уманская С.Ф.^{1,2}, Данилов П.А.², Ионин А.А.², Кудряшов С.И.²,
Кучмижак А.А.³, Порфирьев А.П.⁴**

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”,
Москва*

² *Физический институт имени Лебедева РАН, Москва*

³ *Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток*

⁴ *Самарский национальный исследовательский университет имени*

С. П. Королёва, Самара

8-926-702-58-32, sonya_umanskaya@mail.ru

Лазерная абляция жесткофокусированным лазерным лучом индуцирует гидродинамические потоки расплава, которые перераспределяют металл в мишени. Перераспределенный жидкий металл перекристаллизовывается в виде микроструктур: конусов, нанокорон и отверстий. Обычно фрагменты таких элементов создаются с помощью дорогостоящих оптической или электронно-лучевой литографии [1], хотя подобные структуры могут быть созданы с помощью высокоэффективной фемтосекундной лазерной печати. Формирование лазерного луча с помощью дифракционных оптических элементов (ДОЭ) [2,3] обеспечивает лазерную печать более сложных плазмонных элементов с нанометровым разрешением [4].

Целью данной работы является создание плазмонных структур на тонких пленках серебра и золота жесткофокусированным фемтосекундным лазерным пучком, структурированным с помощью ДОЭ.

Лазерная абляция свежих образцов тонких пленок, закрепленных на управляемой с помощью компьютера трехкоординатной подвижке с минимальным шагом 150 нм, была осуществлена на установке для лазерного микро- и наноструктурирования (рис. 1). Использовалась вторая гармоника фемтосекундного волоконного лазера, легированного ионами Yb^{+3} . Длина волны второй гармоники – 515 нм, диапазон используемых частот 0-2 МГц, энергия варьировалась в диапазоне 0,01-4 мкДж (в ТЕМ₀₀ моде). Лазерные импульсы были сфокусированы на поверхность через объектив мик-

роскопа с числовой апертурой $N_A = 0,25$ в фокальные точки с $1/e$ -радиусами $w_{\text{foc}} \sim 2,2$ мкм и $N_A = 0,65$ в фокальные пятна с $1/e$ -радиусами $w_{\text{foc}} \sim 1,57$ мкм. Используемые в наших экспериментах ДОО были изготовлены на поверхностях пластин из плавленого кварца толщиной 2 мм с использованием фотолитографии и плазменного травления в качестве последующей обработки для понижения ступеней рельефа (высота 560 нм).

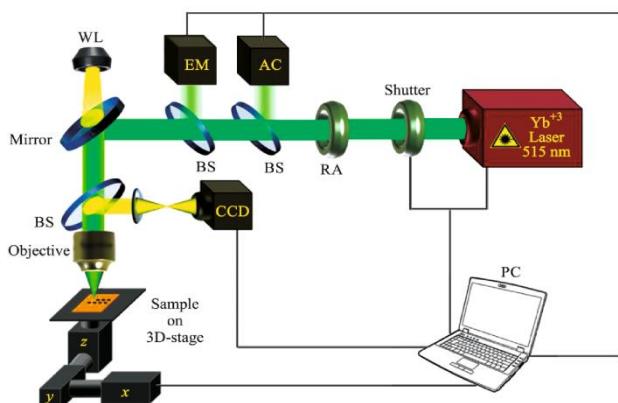


Рис.1. Установка лазерного микро- и наноструктурирования: (AC) автокоррелятор, (EM) измеритель мощности, (RA) отражательный ослабитель, (WL) галогеновая лампа подсветки, (CCD) ПЗС-камера, (BS) делитель пучка, (PC) компьютер для управления лазером и подвижкой

Литература:

1. Y. Kuroiwa, N. Takeshima, Y. Narita, S.Tanaka, and K. Hirao Opt. Express 12, 1908-1915 (2004).
2. A. P. Porfirev 2016 J. Phys.: Conf. Ser. 735 012027.
3. S. Matsuo, S. Juodkazis and H. Misawa, Appl. Phys. A 80, 683 (2005).
4. A. Wang, L. Jiang, X. Li, Y. Liu, X. Dong, L. Qu, Y. Lu, Adv. Mater. 27, 6238 (2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ МОДУЛЬНОГО СВЕРЛА СИСТЕМЫ HTS ПРИ СВЕРЛЕНИИ КРУПНЫХ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В КОРПУСНОМ ОБОРУДОВАНИИ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Усманов М.З.^{1,2}, Терехов В.М.²

¹ НИЯУ МИФИ, г. Москва

² ЗуО-Подольск, Московская область, г. Подольск
8-916-372-86-72, marat12u@yandex.ru

Объектом исследования является технология и инструмент для сверления глубоких отверстий большого диаметра в корпусном реакторном оборудовании.

Цель работы: снижение цикла изготовления корпусного реакторного оборудования за счёт внедрения прогрессивной технологии сверления глубоких отверстий большого диаметра.

Задачи:

1. Определить собственные частоты изгибных колебаний модульного сверла;
2. Определить собственные частоты крутильных колебаний модульного сверла;
3. Разработать и внедрить в производство технологию высокоскоростного сверления глубоких отверстий большого диаметра.

На основании анализа конструктивных особенностей и технологии глубокого сверления крупных гладких глубоких отверстий был принят для исследования специальный инструмент фирмы «Кеп-паметал» [1], определены собственные частоты изгибных и крутильных колебаний данного сверла в зависимости от вылета шпинделя станка и надежности центрирования режущей головки пилотным сверлом. Показана принципиальная возможность возникновения вибраций модульного режущего инструмента вследствие резонанса изгибных колебаний при сверлении глубоких отверстий большого диаметра на форсированных режимах резания [2]. Сложность данной технологии обусловлена соотношением глубины отверстия (810 мм) к его диаметру (84 мм), что составляет 9,53 [3].

На основе математической модели сверления определена амплитуда и частота пульсаций момента резания и показана принципиальная возможность возникновения резонанса крутильных колебаний модульного сверла в процессе сверления глубоких отверстий.

При обработке глубокого отверстия обеспечены требуемые их геометрические параметры и однородный микрорельеф с параметром шероховатости R_a 6,3 мкм для последующего ультразвукового контроля.

В результате внедрения высокоскоростного метода сверления глубоких отверстий обеспечено снижение цикла их изготовления корпусного оборудования ответственного назначения до 5 раз. Результаты работы внедрены при производстве реакторного корпусного оборудования для ледоколов нового поколения «Арктика», «Сибирь», «Урал». На конструкцию инструмента подана заявка на предполагаемое изобретение № 2017109411, приоритет от 21.03.2017 г.

В работе показана высокая экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии.

Литература

1. Каталог инструмента фирмы Kennametal [Электронный ресурс] / Справочно-информационный интернет-ресурс фирмы Kennametal, 2017. — Режим доступа: <http://www.kennametal.com/en/resources/catalogs-and-literature.html>, свободный.
2. Терехов В. М. Технологические основы обеспечения качества глубоких отверстий и соединений теплообменных труб с трубными решетками и коллекторами аппаратов атомных энергоустановок. — Дис. докт. техн. наук, Подольск: ОАО Машиностроительный завод ЗиО-Подольск, 2006. — 476 с.
3. Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Обработка глубоких отверстий в машиностроении: справочник /; Под общ. ред. С.В. Кирсанова. — М.: Машиностроение, 2010. — 344 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА И ЗАРЯДОВОГО СОСТАВА ИОНОВ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ «КАНАЛ-2»

Фахриев Б.Р., Кондратенко Т.Т., Пузырёв В.Н., Саакян А.Т., Стародуб А.Н., Фроня А.А., Якушев О.Ф.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
(499) 132-65-74, boris.fakhriev@gmail.com*

Проведены эксперименты на установке «Канал-2» по изучению ионного состава плазмы, полученной при воздействии излучения неодимового лазера на мишени из гадолиния и алюминия, а также пенную мишень с 10-процентным содержанием меди. Конструкция лазера позволяет независимо варьировать пространственную и временную когерентности выходного излучения, а также изменять пространственно-угловые параметры пятна фокусировки на мишени [1]. Номинальные значения основных параметров лазерного излучения в данных экспериментах следующие: длина волны – 1.06 мкм, длительность импульса по полувысоте – 2.5 нс, ширина спектра – 26 Å, расходимость – 1.4 мрд, энергия излучения в одном импульсе – до 20 Дж. Диаметр пятна фокусировки на мишени составлял 170 мкм, плотность потока мощности на мишени $\sim 10^{13}$ Вт/см².

В проведённых экспериментах зарегистрированы ионные спектры плазмы для указанных мишеней, определены ионные составы, построены зависимости суммарного ионного заряда и количества электронов в плазме от энергий ионов в приближении сферического разлета плазмы. С помощью цилиндра Фарадея измерено распределение суммарного ионного заряда во времени. Показано, что при увеличении энергии греющего излучения суммарный заряд и количество заряженных частиц растут с увеличением удельной плотности образованной плазмы.

С повышением энергии греющего излучения возрастало количество высокоэнергетичных ионов. В случае мишени из гадолиния при значении энергии лазерного импульса 7 Дж максимальная степень ионизации составила Gd^{+10} , а при энергии 20 Дж – Gd^{+16} . Од-

нако для использованных в экспериментах значений энергий лазерного излучения, вклад высокоэнергетичных ионов в суммарный заряд остается мал.

При одинаковой плотности потока мощности лазерного излучения обнаружены отличия в эмиссии ионов для мишеней из алюминия и гадолиния. В частности, в эксперименте с алюминием энергия ионов не превышает 6 кэВ, а в случае с гадолинием при близком значении энергии зарегистрированы ионы с энергиями до 20 кэВ.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (грант №16-02-00293).

Литература

2.S.I. Fedotov, L.P. Feoktistov, M.V. Osipov, A.N. Starodub.
Laser for LTF with controlled function of mutual coherence of radiation. J. Russian Laser Research. N.25. P.79 (2004).

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ НА МОРФОЛОГИЮ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ $\text{ZrO}_2\text{-7Y}_2\text{O}_3$ ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОГО ВЧ РАСПЫЛЕНИЯ

Филатов М.С., Яковлева К.С., Стогней О.В.

*Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж
89518549186, 36nord36@mail.ru*

Для совершенствования тепловой защиты ответственных деталей техники 5-го и 6-го поколения, необходимо создание новых термобарьерных покрытий (ТБП). Чистые оксиды некоторых металлов (например, Al_2O_3 , Y_2O_3 , ZrO_2 , ThO_2 , HfO_2) из-за термодинамической стабильности и устойчивости в окислительных атмосферах вплоть до температуры плавления, представляют большой интерес как материалы для ТБП. С помощью магнетронного ВЧ (13.56 МГц) реактивного распыления металлической мишени (ZrY) были получены пленки стабилизированного диоксида циркония на двух разных типах подложек (на аморфном стекле и монокристаллическом кремнии). Толщина пленок $\text{ZrO}_2\text{-7Y}_2\text{O}_3$ составила 2.5 мкм. Установлено, что тип подложки практически не влияет на значения микротвердости (H_k) керамических покрытий $\text{ZrO}_2\text{-7Y}_2\text{O}_3$. В случае аморфного стекла, значение H_k составило 260 МПа, в случае монокристаллического кремния значение H_k составило 280 МПа. Низкие значения микротвердости стабилизированного диоксида циркония, по всей видимости, связаны со структурными особенностями полученных покрытий. Также в работе установлено влияние типа подложки на морфологию керамических покрытий. На рис. 1 представлена микрофотография поверхности покрытия $\text{ZrO}_2\text{-7Y}_2\text{O}_3$ напыленного на аморфное стекло. В случае напыления на аморфную подложку поверхность $\text{ZrO}_2\text{-7Y}_2\text{O}_3$ представляет собой сегментированное поле со средним размером одного сегмента 4x4 мкм. По всей видимости, в этом случае наблюдается столбчатый рост пленки, а на микрофотографиях видны вершины столбчатых кристаллитов с четкой границей раздела между ними (рис. 1).

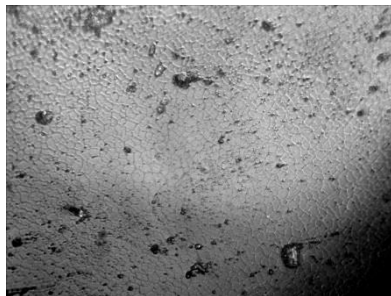


Рис 1 - микрофотография поверхности покрытия $\text{ZrO}_2\text{-7Y}_2\text{O}_3$ напыленного на аморфное стекло

На рис. 2 представлена микрофотография морфологии покрытия $\text{ZrO}_2\text{-7Y}_2\text{O}_3$ на монокристаллическом кремнии.

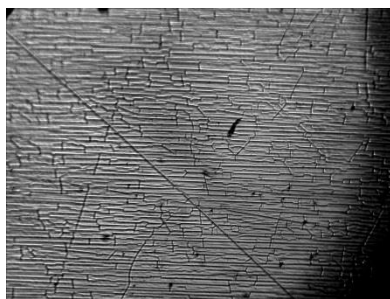


Рис. 2 - микрофотография поверхности покрытия $\text{ZrO}_2\text{-7Y}_2\text{O}_3$ напыленного на монокристаллический кремний

В данном случае также наблюдается столбчатый рост кристаллитов диоксида циркония, однако, форма колонн имеет правильную прямоугольную форму со средним размером 20×3 мкм. По всей видимости, в случае напыления на монокристаллический кремний, рост пленок во время магнетронного ВЧ реактивного распыления носит эпитаксиальный характер. В случае использования аморфной подложки, форма и размер единичных колонн зависит исключительно от параметров и условий магнетронного напыления.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-42-360778
р_а

СРАВНЕНИЕ НР НА ГРУППЕ SO(3) ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФРО ПОЛИКРИСТАЛЛОВ

Филатов С.В.¹, Савёлова Т.И.¹

¹ НИЯУ МИФИ, г. Москва

8-915-140-35-38, feelshadow5@gmail.com

Цель работы: рассмотреть и сравнить между собой различные нормальные распределения (НР) на группе вращений SO(3), применяемые в текстурном анализе.

Рассматривается 4 нормальных распределения:

1. ФНР (нормальное распределение Фишера)

$$\frac{e^{k_F^2 \cos t}}{I_0(k_F^2) - I_1(k_F^2)} \frac{1}{\pi} \sin^2\left(\frac{t}{2}\right)$$

2. БНР (нормальное распределение Бунге)

$$C(k_B) \exp\left(-\frac{k_B^2 t^2}{2}\right) \frac{1}{\pi} \sin^2\left(\frac{t}{2}\right),$$

3. ЦНР (центральное нормальное распределение)

$$\sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) \exp\left(\frac{-l(l-1)}{2k_G^2}\right) \frac{\sin((l+\frac{1}{2})t)}{\sin(\frac{t}{2})} \frac{1}{\pi} \sin^2\left(\frac{t}{2}\right),$$

4. ННР (намотанное нормальное распределение)

$$\sum_{l=-\infty}^{+\infty} \frac{k^3}{\sqrt{2\pi}} (2l\pi - t)^2 \exp\left(\frac{-k^2(2l\pi - t)^2}{2}\right).$$

ФНР, БНР и ЦНР имеют широкое применение в текстурном анализе.

В отличие от них, ННР [1] является новым распределением, применение которого в текстурном анализе еще следует оценить. В связи с этим изучению его свойств имеет смысл уделить большее внимание.

Все эти распределения являются центральными функциями на группе $SO(3)$. ЦНР является частным случаем нормальных распределений на $SO(3)$, удовлетворяющих ЦПТ К.Партасарати [2]. ННР удовлетворяет ЦПТ в евклидовом пространстве R^3 и для него построено экспоненциальное отображение в $SO(3)$.

Для ЦНР и ННР рассматривается метод Монте-Карло моделирования случайных величин.

Все приведенные НР применяются для моделирования компонент функции распределения зерен по ориентациям в текстурном анализе.

Литература

1. Yu Qiu Isotropic Distributions for 3-Dimension Rotations and One-Sample Bayes Inference. Graduate Thesis and Dissertations. Paper 13007, 2013, p.70.
2. Савёлова Т.И., Иванова Т.М., Сыпченко М.В. Методы решения некорректных задач текстурного анализа. М, МИФИ, 2012, с. 268.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОТКЛИКА НА ВНЕШНЕЕ ОДНОРОДНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ДЛЯ КРИСТАЛЛОВ LiN_3 И NaN_3

Филиппов Д.И.¹, Гордиенко А.Б.¹

¹ Кемеровский государственный университет, Кемерово
+79236132303, filippovdaniil@kemsu.ru

Вычисление отклика многоэлектронной системы на приложенное внешнее однородное электрическое поле является актуальной задачей, решение которой открывает прямой доступ к описанию диэлектрических, пьезоэлектрических и сегнетоэлектрических свойств кристаллов. Наиболее эффективным способом решения этой задачи является теория возмущений для функционала плотности (DFPT) [1]. Значительное число реализующих ее вычислительных схем используют базис плоских волн (PW), что позволяет избежать ряда трудностей, обусловленных неортогональностью и неполнотой базиса локализованных функций, обладающего своими собственными преимуществами.

Целью настоящей работы была реализация вычислений в рамках DFPT с использованием базиса псевдоатомных орбиталей (PAO) [2]. За основу была взята схема [3], которая практически не используется для кристаллов, что позволило получить для двух типов возмущений ($\mathbf{k}$, $\mathbf{E}$) аналитические формулы и вычислить для азидов LiN_3 , $\alpha\text{-NaN}_3$ и $\beta\text{-NaN}_3$ значения диэлектрического тензора по формуле:

$$\varepsilon_{\alpha\beta}^{\infty} = \delta_{\alpha\beta} - \frac{8\pi}{\Omega} i \sum_{\mathbf{nk}} f_{\mathbf{nk}} \left\langle u_{\mathbf{nk}}^{(E_{\alpha})} \left| u_{\mathbf{nk}}^{(k_{\beta})} \right. \right\rangle, \quad (1)$$

где $u_{\mathbf{nk}}^{(E_{\alpha})}$ и $u_{\mathbf{nk}}^{(k_{\beta})}$ – производные периодической части блоховской функции по компонентам вектора напряженности электрического поля $\mathbf{E}$ и волнового вектора $\mathbf{k}$, $f_{\mathbf{nk}}$ – числа заполнения. Полученные значения $\varepsilon_{\alpha\beta}^{\infty}$ затем сравнивались с результатами расчетов, использующих аналогичные параметры, но PW базис [4]. Для азидов лития результаты вычислений приведены в таблице 1. Видно, что

анизотропия и величина полученных собственных чисел матрицы диэлектрического тензора находятся в хорошем согласии для двух расчетных схем, что указывает на корректность реализации метода.

Таблица 1. Собственные значения матрицы диэлектрического тензора

$\mathcal{E}_{\alpha\beta}^{\infty}$ для кристалла LiN_3 .

Размерность к-сетки	Базис					
	PAO			PW		
	$\bar{\mathcal{E}}_1$	$\bar{\mathcal{E}}_2$	$\bar{\mathcal{E}}_3$	$\bar{\mathcal{E}}_1$	$\bar{\mathcal{E}}_2$	$\bar{\mathcal{E}}_3$
$2 \times 2 \times 2$	1.972	2.147	3.565	2.190	2.145	3.966
$4 \times 4 \times 4$	2.150	2.094	3.681	2.204	2.152	3.997

Таким образом, в настоящей работе была выполнена реализация вычислений отклика на внешнее однородное электрическое поле в рамках DFPT, которая использует базис локализованных функций в форме PAO. Для ионно-молекулярных кристаллов LiN_3 , $\alpha\text{-NaN}_3$ и $\beta\text{-NaN}_3$ были получены значения диэлектрического тензора $\mathcal{E}_{\alpha\beta}^{\infty}$.

Литература

1. P. Giannozzi, S. de Gironcoli, P. Pavone and S. Baroni. Ab initio calculation of phonon dispersions in semiconductors. Phys. Rev. B. Vol.43, P.7231-7242 (1991).
2. R. W. Jansen and O. F. Sankey. Ab initio linear combination of pseudo-atomic-orbital scheme for the electronic properties of semiconductors: Results for ten materials. Phys. Rev. B Vol.36, P.6520 (1987).
3. J. A. Pople, R. Krishnan, H. B. Schlegel and J. S. Binkley. Derivative studies in hartree-fock and møller-plesset theories. Int. J. Quantum Chem. Vol.16, P.225-241 (1979).
4. X. Gonze, J.-M. Beuken, R. Caracas, F. Detraux, et al. First-principles computation of material properties: the ABINIT software project. Comput. Mater. Sci. Vol.25, P.478-492 (2002).

ТЕХНОЛОГИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ГТД

Хайруллина Л.Р.¹, Смородин Ф.К.¹

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань
89625388410, e-mail; Lraisovna88@mail.ru

Процесс лазерной резки характеризуется одновременным воздействием на разрезаемый материал сфокусированного линзой или объективом лазерного излучения и вспомогательного газа, в результате которого образуется в материале узкий рез. Синхронно перемещению лазерного резака по всей толщине обрабатываемого материала движется нагретая до определенной температуры наклонная поверхность разрушения (передняя поверхность реза), взаимодействующая с излучением.

При резке металлов механизм разрушения может быть стационарным, когда по всей длине канала реза образуется ванна расплава. На практике имеет место нестационарный механизм, характеризующийся периодическим выносом расплавленного металла из узкой щели реза [1].

Использование вспомогательного газа позволяет заметно снизить удельные затраты энергии излучения благодаря более интенсивному удалению из узкой щели реза продуктов разрушения. При резке металлов применяют в основном кислород. На лобовой поверхности реза выделяется дополнительная теплота в результате окисления металла. Образуется оксидная плёнка, которая значительно повышает коэффициент поглощения излучения [2].

Целью работы экспериментальное выявление диапазонов импульсной лазерной резки авиационных материалов, разработка технологий импульсной лазерной резки алюминиевого сплава В93 для резки камеры сгорания и входного обтекателя газотурбинного двигателя при изменении следующих параметров: мощности лазера, скорости резки, частоты и длительности импульсов, заглупления фокального пятна в материал.

Практическое применение импульсной лазерной резки в секциях камеры сгорания

Для изготовления корпусов и жаровых труб камер сгорания используются термостойкие сплавы на основе кобальта и никеля. Большой перепад температуры в стенках жаровой трубы приводит к появлению в них температурных напряжений, которые вызывают коробление, а иногда и разрушение стенок. При проектировании камер сгорания уделяется внимание их охлаждению. Для предотвращения дефектов в виде трещин и короблений в зоне термического влияния предлагается использование импульсной лазерной резки.

Способ лазерной резки отверстий проводится в жаровых трубах для секций охлаждения: первичной зоны и зоны смешения, при котором в отличие от холодной штамповки не возникают остаточные напряжения и микротрещины в зоне воздействия [3].

Применение импульсно-периодического излучения позволяет снизить удельные затраты энергии излучения, а также существенно повысить качество резки. Назначая определенные параметры излучения (пиковую мощность, форму, длительность и частоту следования импульсов), можно активно влиять на скорость резки, глубину зоны термического воздействия, толщину разрезаемого материала, количество грата на кромках.

Литература

1. В.С. Голубев, О механизмах удаления расплава при газолазерной резке материалов // Шатура. ИПЛИТ РАН (2004).
2. Л.Р. Хайруллина, Известия Самарского научного центра Российской академии наук – Самара: Самарский научный центр Российской академии наук. – № 1(5). – 1624-1626 –ISSN 1990-5378 (.2014).
3. Л.Р. Хайруллина, Ф.К. Смородин «Технология лазерного сверления и резки отверстий в изделиях авиастроения» // Вестник — Казань: Изд-во Каз-ого гос. техн. университета. — № 2.- С. 39-43. — ISSN 2078-6255 (2016).

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИОНОВ ПЛАЗМЫ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА С ГОРЯЧЕЙ МИШЕНЬЮ

Хомяков А.Ю., Казиев А.В., Тумаркин А.В., Колодко Д.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

+7(910)545-42-19, andrey.humster@gmail.com

Высококачественные пленочные покрытия чрезвычайно востребованы в различных прикладных областях (оптика, машиностроение, электроника, медицина и т. д.). Одним из наиболее распространенных методов нанесения покрытий является магнетронное распыление.

Преимуществом магнетронных распылительных систем (МРС) с горячей/расплавленной мишенью является возможность работы в режиме самораспыления, когда разрядная плазма формируется исключительно в парах металла мишени. В этом режиме не требуется использование рабочего газа, при этом скорости осаждения покрытий многократно увеличиваются по сравнению с классическим режимом с охлаждаемой мишенью. Значительно улучшается качество наносимых покрытий, минимизируются поверхностные деформации и разрушение пленок частицами рабочего газа [1].

Понимание физики процессов в МРС лежит в основе методов контроля плазменных параметров с целью увеличения скорости осаждения и улучшения качества наносимых покрытий. Одним из таких параметров является энергетическое распределение ионов, бомбардирующих подложку при напылении.

В данной работе проводилось измерение энергетических распределений ионов в магнетронном разряде с горячей мишенью с помощью компактного полуцилиндрического электростатического энергоанализатора.

Энергоанализатор состоит из полуцилиндрического конденсатора, обкладки которого изолированы фторопластом, входной диафрагмы и коллектора. Энергия регистрируемых ионов, попадающих на коллектор, вычислялась по формуле:

$$E_i = \frac{qU}{2 \ln \frac{r_2}{r_1}} = kU, \quad (1)$$

где E_i – энергия ионов, q – заряд иона, U – разность потенциалов на обкладках энергоанализатора, r_2 и r_1 – радиусы внутренней и внешней обкладок, соответственно.

Измерения проводились в магнетронном разряде постоянного тока при мощности 100 и 500 Вт. Рабочий газ – Ar. Давление рабочего газа – 1 Па. Анализатор располагался на расстоянии 7 см от поверхности мишени. Пример получаемого спектра показан на рис. 1.

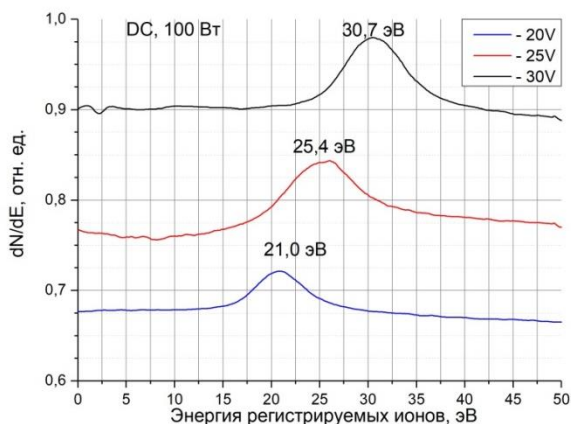


Рис.1. Энергетические распределения ионов в магнетронном разряде постоянного тока с мощностью 100 Вт

На основе полученных данных был экспериментально получен коэффициент $k = 2,5$ эВ/В. Оценен потенциал плазмы: 0,7 В и 2,2 В в режимах 100 и 500 Вт, соответственно.

Литература

1. А. В. Тумаркин, Г. В. Ходаченко, А. В. Казиев и др. Магнетронный разряд с расплавленным катодом. Успехи прикладной физики. Т. 1. № 3. С. 276-281 (2013).

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КОЛЕБАТЕЛЬНОГО СПЕКТРА ЛЬДА

Шайкомалова Е.С.

*Кемеровский государственный университет, г.Кемерово
8-960-907-5107, l6930@mail.ru*

В связи с активным изучением космоса в последние годы перед современной наукой стоит множество задач, среди которых – исследование состава и структуры объектов межзвездного пространства. Вода же распространена не только на нашей планете, но и во всей Вселенной, причем в основном встречается в твердой фазе как, например, в полярной шапке Марса и ближайших планетах Уран и Нептун. Используя развивающиеся методы компьютерного моделирования, можно с достаточной точностью получать необходимые теоретические данные [1].

Целью данной работы является проведение первопринципных расчетов механических свойств и построение колебательных спектров II, IV, VIII и XI фаз льда. Используется программный код CRYSTAL14 с применением метода Хартри-Фока и DFT; функционал был выбран B3LYP [2].

Рассматриваемые фазы имеют принципиальные отличия в структуре и существуют при разных условиях (давлении и температуре). В результате проведенных вычислений была установлена их устойчивость, ввиду полного выполнения критериев механической стабильности [3]. Для оценки упругих характеристик использовалась стандартная процедура Фойгта-Реусса-Хилла. Полученные значения объема элементарной ячейки V_0 , модуля объемного сжатия B , модуля сдвига G , модуля Юнга E , коэффициента Пуассона μ , а также продольной v_L и поперечной v_T скоростей звука представлены в таблице 1 и хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Так, для VIII фазы $B^{(теор)}=27,89$ ГПа, $B^{(эксп)}=27,9 \pm 0,3$ ГПа [4].

Методы ИК и КР спектроскопии эффективны для проведения качественного и структурного анализа, поэтому были построены колебательные спектры для исследуемых фаз. Главные пики ин-

тенсивности приходится на следующие частоты: для ИК $\nu^{\text{II}}=3336$, $\nu^{\text{IV}}=3041$, $\nu^{\text{VIII}}=3469$, $\nu^{\text{XI}}=3105$; для КР $\nu^{\text{II}}=3502$, $\nu^{\text{IV}}=2914$, $\nu^{\text{VIII}}=3355$, $\nu^{\text{XI}}=3064$ (в см^{-1}).

Таким образом, для задач идентификации кристаллических фаз льда были вычислены частоты и интенсивности активных в ИК и КР-спектрах мод. Также были рассчитаны упругие параметры II, IV, VIII и XI фаз льда, позволяющие предсказывать механические свойства образцов, сравнивать их характеристики.

Таблица 1. Механические параметры II, IV, VIII и XI фаз льда

Фаза	V_0 , $\text{\AA}^3/\text{f.u.}$	B, ГПа	G, ГПа	E, ГПа	μ	ν_L , км/с	ν_T , км/с
II	23,41	22,7	11,02	28,45	0,29	5,550	3,013
IV	31,37	20,09	7,01	18,85	0,34	5,546	2,706
VIII	19,00	27,89	19,44	47,32	0,22	5,558	3,341
XI	29,69	17,96	8,24	21,45	0,3	5,289	2,822

Литература

1. Y. Liu, L. Ojamae. Raman and IR Spectra of Ice Ih and Ice XI with an Assessment of DFT Methods. J. Phys. Chem. B. 120(42). P. 11043-11051 (2016).
2. Dovesi, R. CRYSTAL14 User's Manual / R. Dovesi, V.R. Saunders, C. Roetti [et al.] // Torino: University of Torino (2014).
3. Z.Wu, E. Zhao, H. Xiang, X. Hao, X. Liu, and J. Meng. Crystal structures and elastic properties of superhard IrN_2 and IrN_3 from first principles. Phys. Rev. B. 76. P. 054115 (2007).
4. Y. Yoshimura, S. T. Stewart, M. Somayazulu, H. Mao, and R. J. Hemley. High-pressure x-ray diffraction and Raman spectroscopy of ice VIII. Journal of Chemical Physics 124(2): 024502. (2006).

ИЗМЕРЕНИЕ ВНЕШНЕЙ КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДОВ

Швайко Д.Р.¹, Коршунов В.М.^{2,3}, Ващенко А.А.^{1,3}, Селюков А.С.^{1,3}

¹ МФТИ (ГУ), Долгопрудный

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

³ ФИАН им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

тел.: 8-926-988-75-78, e-mail: denis.shvayko@phystech.edu

Одной из наиболее важных характеристик электролюминесцентных устройств (ЭЛУ) является их внешняя квантовая эффективность. Именно этот параметр во многом определяет перспективы разработки и использования устройств на основе тех или иных люминесцентных материалов и физических принципов. Однако измерение внешней квантовой эффективности ЭЛУ, в отличие от их спектральных и электрофизических характеристик, представляет собой довольно сложную задачу, поскольку, по сути, требует учесть все фотоны, испущенные ЭЛУ. Как, правило, для проведения таких измерений требуются сложные и дорогостоящие приборы, включающие в себя интегрирующую сферу [1]. С другой стороны, предлагался метод оценки внешней квантовой эффективности η_{ext} [2], основанный на измерении спектральных характеристик $I(\lambda)$ устройства, яркости его излучения L , а также рабочего напряжения U и плотности тока J :

$$\eta_{ext} = \frac{\pi L}{UJ} \frac{\int I(\lambda) \frac{hc}{\lambda} d\lambda}{\int I(\lambda) \frac{hc}{\lambda} K_m K(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

где $K(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения, $K_m = 683$ лм/Вт – максимальная световая эффективность монохроматического излучения, λ – длина волны излучения.

Целью работы являлось верифицировать применимость метода для измерения η_{ext} серийных светодиодов (L-53MBC-1, образец 1; B5-433-B505-1, образец 2; OPE5T64UR-1, образец 3) и с его помощью оценить η_{ext} для нового прототипа образца планарного органического светоизлучающего диода со структурой ITO/PEDOT:PSS/ α -NPD/Eu(C3F7)Bphen+CBP/TPBI/LiF/Al (образец 4), где в качестве

материала эмиттера использовался комплекс европия $\text{Eu}(\text{C3F7})\text{Bphen}$. Кроме того, для всех образцов были определены хроматические координаты $(x;y)$ в системе МКО 1931.

Для образца 1 длина волны в максимуме излучения $\lambda_1=430$ нм, рабочее напряжение $U_1=3.82$ В, плотность тока $J_1=7.6 \cdot (10^{-10})$ А/м², яркость $L_1=1130$ кд/м², $\eta_{\text{ext-1}}=0.021 \pm 0.001\%$, $(x;y)_1=(0.13;0.06)$; для образца 2 – $\lambda_2=499$ нм, $U_2=3.28$ В, $J_2=7.6 \cdot (10^{-10})$ А/м², $L_2=150000$ кд/м², $\eta_{\text{ext-2}}=0.57 \pm 0.01\%$, $(x;y)_2=(0.08;0.62)$; для образца 3 – $\lambda_3=640$ нм, $U_3=1.85$ В, $J_3=7.6 \cdot (10^{-10})$ А/м², $L_3=350000$ кд/м², $\eta_{\text{ext-3}}=5.2 \pm 0.1\%$, $(x;y)_3=(0.7;0.3)$. Значения внешней квантовой эффективности для трех перечисленных образцов в пределах погрешности измерений согласуются с результатами контрольных измерений при помощи фотометра Konica Minolta LumiCam 1300, что подтверждает применимость рассматриваемого метода для оценки внешней квантовой эффективности ЭЛУ. Таким образом, данный метод был применен для характеристики образца 4. Полученные характеристики: $\lambda_4=615$ нм, $U_4=12$ В, $J_4=3.3 \cdot (10^{-14})$ А/см², $L_4=10$ кд/м², $\eta_{\text{ext-4}}=0.26 \pm 0.01\%$, $(x;y)_4=(0.68;0.32)$.

Результаты работы показывают, что рассмотренный относительно простой метод определения внешней квантовой эффективности может быть успешно применен для оценки соответствующих параметров как серийных светодиодов, так и опытных образцов планарных органических ЭЛУ.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18-02-00653 А, 17-32-80050 мол_эв_а и 17-02-01408 А.

Литература

1. R.W. Boyd. Radiometry & the Detection of Optical Radiation. (NY: John Wiley and Sons. 1983).
2. S. Okamoto et al. Simple measurement of quantum efficiency in organic electroluminescent devices Japanese journal of applied physics. Vol.40. Issue.7B. P.L783 (2001).

ИСТОЧНИК УСКОРЕННЫХ ПУЧКОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИОНОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ LiF

Шипилова О.И.¹, Горбунов С.П.¹

¹ ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск
89149007824, 4me4you@bk.ru

Люминесценция наночастиц (НЧ) из благородных металлов, помещенных в диэлектрическую матрицу, в частности, матрицу LiF, привлекает все большее внимание в последние десятилетия. Их уникальные оптические свойства могут применяться в различных областях, таких как люминесцентные метки и зонды [1], датчики [2] и системы хранения данных [3]. Одним из наиболее используемых методов получения НЧ является имплантация высокоэнергичных ионов металлов в матрицу

В данной работе для этой задачи используется миниатюрный вакуумно-искровой разряд с весьма умеренными энергетическими параметрами: напряжением ≤ 2.5 кВ, энергией накопителя менее 10 Дж, длительностью разряда около 1 мкс. Ранее было показано, что при определенных условиях такой разряд также эмитирует пучок ионов материала катода длительностью несколько десятков наносекунд, движущиеся в направлении анода. Энергии этих ионов достигали сотен килоэлектронвольт при напряжении на разряде менее 3 кВ, при этом максимальная зарядность ионов превышала $+15$ для Cu и $+50$ – для Ta катодов [4].

Полированные кристаллы размером 1×1 см² помещались за анодом на расстоянии 10 см от него. Ускоренный пучок плазмы проходил через отверстие в аноде и попадал на поверхность кристалла.

На рис. 1 приведены спектры фотолюминесценции образцов, облученных ионами меди, возбуждаемой лазерными импульсами на длинах волн 375 нм и 405 нм и регистрируемой через фильтры с отсечкой на длинах волн 400 и 430 нм, соответственно.

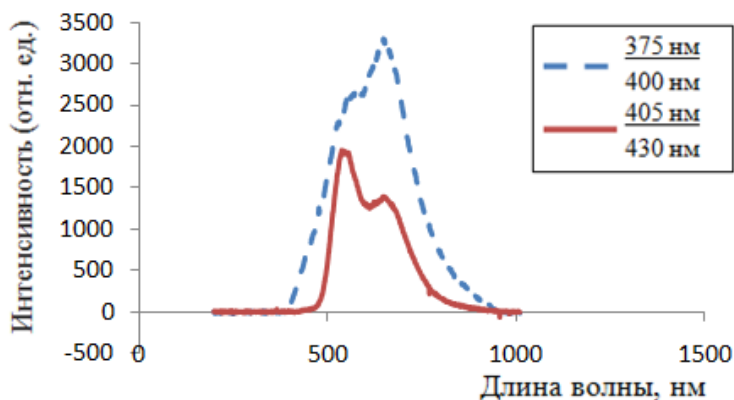


Рис.1. Спектры люминесценции кристалла LiF, возбуждаемые излучением с разной длиной волны, регистрируемые с соответствующими фильтрами

Результаты, приведенные на рис.1 показывают, что при возбуждении излучением с $\lambda = 405$ нм регистрируются полосы люминесценции с максимумами на длинах волн 550 и 680 нм, соответствующие центрам окраски (ЦО) F2 и F₃⁺, возникающими при облучении кристалла плазменной струей и рентгеновской эмиссией разряда. При возбуждении излучением с $\lambda = 375$ нм регистрируется широкая полоса люминесценции, существенно перекрывающая полосы ЦО. Можно предположить что в этом случае люминесцируют ионы меди, имплантированные в матрицу LiF или сформированные в матрице кластеры меди. Таким образом данный источник может быть использован для задач ионной имплантации.

Литература

1. J. Zheng and R. M. Dickson. J. Am. Chem. Soc. Vol.124. P.13982 (2002).
2. B. Adhikari and A. Banerjee. Chem. Mater. Vol.22. P.4364 (2010).
3. L. Canioni. et al Opt. Lett. Vol.33. P. 3602008 (2015).
4. Артамонов М.Ф., Красов В.И., Паперный В.Л. ЖЭТФ. Т. 120. Вып. 6. Стр. 1404 (2001)

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЯДРО-ОБОЛОЧКА НАНОКЛАСТЕРА Cu_2Si ПРИ ПРОЦЕССАХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Юмозжапова Н.В.¹, Номоев А.В.^{1,2}

¹*Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ.*

²*Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ.
8(924)4570034, ynat81@bk.ru*

В последнее время значительное внимание уделяется получению композитных наночастиц типа ядро-оболочка из-за их уникальных свойств, существенно отличающихся от макроскопических материалов. Среди практически используемых методов синтеза можно выделить метод, основанный на испарении вещества релятивистским пучком электронов с последующей конденсацией паров в потоке инертного газа носителя. Таким путем были получены наночастицы Cu_2Si , $\text{TaSi}_2@Si$ [1-2]. Однако несмотря на пристальное внимание к синтезу композитных наночастиц, до сих пор нет полного понимания механизма формирования наночастиц ядро-оболочка. С целью выявления и уточнения закономерностей образования наночастиц двухкомпонентной системы на атомном уровне было промоделировано формирование наночастиц типа ядро-оболочка. При моделировании использовался пакет LAMMPS - свободный пакет программ для классической молекулярной динамики [3]. Для описания межатомного взаимодействия был выбран MEAM потенциал [4], позволяющий с достаточно высокой точностью описывать такие характеристики, как параметр решетки, упругие модули, энергии образования и миграции точечных дефектов и т.д. В качестве начального объекта был взят свободный сферический кластер сплава меди и кремния, полученный при вырезании сферы из идеальной ГЦК решетки, состоящий из 1205 атомов, из них 120 - кремний. Первоначально кластер находится в жидком состоянии после лазерной абляции. Начало процесса охлаждения сопровождалось релаксацией исходной фазы при температуре $T=1800$ К. Охлаждение кластера проводилось в рамках канонического ансамбля с использованием термостата Нозе. Временной шаг

составлял $t=1$ фс. Для вычисления использовался скоростной вариант алгоритма Верле. Для визуализации и анализа результатов моделирования была использована программа OVITO [5].

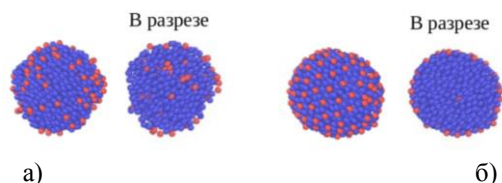


Рис.1. Капля сплава меди (синий) и кремний (розовый): а) в начальный момент времени, $T=1800$ К ; б) через 75 нс, $T=300$ К.

Атомы кремния начинают сегрегировать к поверхности частицы через 20 нс. При дальнейшем охлаждении Si равномерно распределяется по всей поверхности Cu. Таким образом, моделирование методом молекулярной динамики процесса создания частиц ядро-оболочка Cu_2Si с предварительно введенными в газовый кластер состоящего из атомов кремния, крупных наночастиц меди показало возможность создания частиц ядро-оболочка по второму механизму. По результатам проведенных экспериментов и компьютерного моделирования процесса формирования наночастицы Cu_2Si можно сделать вывод, что разделение меди и кремния в капле сплава может происходить пока частица достаточно длительное время находится в жидкой фазе.

Литература

1. Номоев А.В., Бардаханов С.П. Синтез, строение наночастиц металл/полупроводник Ag/Si, полученных методом испарения-конденсации // Письма в ЖТФ.
2. Nomoev A. V. et al. Structure and mechanism of the formation of core-shell nanoparticles obtained through a one-step gas-phase synthesis by electron beam evaporation //Beilstein journal of nanotechnology. – 2015. – Т. 6. – С. 874.
3. Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator, LAMMPS, available at: <http://lammps.sandia.gov>
4. B. Jelinek, S. Groh, M.F. Horstemeyer, J. Houze, S.G. Kim, G.J. Wagner, A. Moitra, and M.I. Baskes, Modified embedded atom method potential for Al, Si, Mg, Cu, and Fe alloys, Phys. Rev. B. 85 (2012): 245102

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

SIMULATION OF PHOTOCONDUCTIVE LT-GAAS ANTENNAS FOR TERAHERTZ RADIATION

Nomoev *S.A.¹, Vasilevskii I.S.¹, Vinichenko A.N.¹

¹*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)*

Kashirskoe highway 31, Moscow, 115409, Тел. 8(915)426-99-86

e-mail: serganom@gmail.com

Terahertz technology lies on the grounds where electronics and optics come together. Terahertz (THz) radiation generally refers to the frequency band spanning 0.1–10 THz, which lies between the microwave and infrared regions of the electromagnetic spectrum. With the advent of terahertz technology, many attempts have been made to increase the efficiency and emission power of Terahertz photoconductive antennas (PCA). There have been many such successful attempts like employing microlens arrays [1], increasing effective length of electrodes [2], plasmonic contact electrodes [3], etc. Terahertz technology has found various applications ranging from nondestructive imaging [4] to fingerprinting biological molecules [5]. Time resolved terahertz spectroscopy is used to find optical constants of materials which are transparent or translucent at terahertz frequencies.

Simulation of terahertz (THz) emission based on photoconductive antennas imposes a challenge to couple the semiconductor carrier phenomena, optical transport, and the THz energy transport. The main parameters of THz photoconductive (PC) antenna as THz emitter have been reviewed and discussed. The results indicate the role of each parameter in the resulting photocurrent waveform and THz frequency: The radiated THz photocurrent waveform is determined by the photoconductive gap (the separation between the metallic electrodes), the incident laser illumination and the DC excitation voltage; while the THz frequency depends on the dipole length. The optimization of these parameters could enhance the emission. The simulations extend the advance of compact and cost-effective THz emitters.

References

1. G. Matthaus, et. al. Large-area microlens emitters for powerful THz emission. *Appl. Phys. Lett.*. Vol. B96. P. 233-235 (2009).
2. A. Singh, H. Surdi, V. V. Nikesh, S. S. Prabhu, G. H. Döhler. Improved Efficiency of Photoconductive THz Emitters by Increasing the Effective Contact Length of Electrodes. arxiv.org/abs/1306.6780.
3. S. Park, K. Jin, M. Yi, J. Ye, J. Ahn, and K. Jeong. Enhancement of Terahertz Pulse Emission by Optical Nanoantenna. *ACS Nano*. Vol. 6 (3). P. 2026–2031(2012).
4. K. Kawase, Y. Ogawa, Y. Watanabe, and H. Inoue. Non-destructive terahertz imaging of illicit drugs using spectral fingerprints. *Optics Express*. Vol. 11. Issue 20. P. 2549-2554 (2003).
5. M. Walther, P. Plochocka, B. Fischer, H. Helm and P. Jepsen. Collective vibrational modes in biological molecules investigated by terahertz time-domain spectroscopy. *Biopolymers*. Vol. 67. P. 310–313 (2002).

THE METHOD OF CONSTRUCTION OF SEMICONDUCTOR ELEMENTS IN SURFACE MOUNTING CERAMIC PACKAGE (SMD PACKAGE) WHICH IS BASED ON ALN CERAMIC WITH USING A LASER PROCESSING OF MATERIALS

Prokopenko S.A.

*Federal State Unitary Enterprise All-Russia Research Institute of Automatics,
Sushevskaya str.22, Moscow, Russia;
phone: +7(917)5767567; E-mail: sprokopenko@vniia.net*

The main part in development of special surface mounting elements is construction of surface mounting packages. In general for power semiconductor elements it is used standard surface mounting package (SMD package) which consists of Al_2O_3 ceramic and kovar cover bonding by shock roller welding with vacuum or inert gas inside.

Because of specificity of production and high price of new project manufacturing companies can produce only few most popular models of SMD packages [1-5]. For this reason production of a new device with other number of seats for semiconductor crystals and outside contacts is a long and expensive process, particularly if requirement of such devices is not so high.

In the report it is presented an original group method of construction of semiconductor elements in SMD package which is based on a high-transcendent AlN ceramic. The technology includes a high-precision laser processing and allows constructing of SMD packages with various configurations, sizes and seats for any type of semiconductor crystals. This method provides to product semiconductor elements in new original packages in shorter time and less man-hours that is very important for scientific works.

References:

1. TopLine, ceramic power package // www.topline.tv.
2. China Streamtek Electronics Co., Ltd // www.smtnet.com.
3. TESTPRIBOR, Moscow // www.test-expert.ru.
4. Join Stock Company "MARS" factory", Torzhok // www.z-mars.ru.
5. Join Stock Company "RZRD", Donskoy // www.alund.ru.

THERMAL STABILITY OF FUNCTIONALIZED C₂₀ FULLERENE

Salem M.A.^{1,2}

¹ Department of Condensed Matter Physics, National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia

² Department of Physics, Faculty of Science, Zagazig University, Zagazig, Egypt
Tel: +79858372835 e-mail: mahmod_ali735@yahoo.com

Fullerenes are widely investigated in different research areas due to the higher importance of carbon nanoparticles [1]. Density functional theory has been used to optimize the structure of endohedral doped C₂₀ fullerene. An ab initio method is used for the calculation of Binding energies of hydrogen doping inside a C₂₀ cage. (see Fig.1)

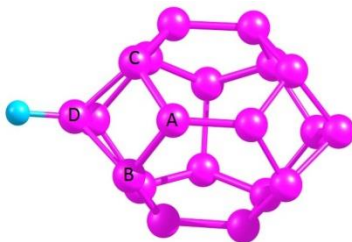


Fig. 1: the structural geometry of C₂₀H

In this research, we investigated the adsorption of the atoms: H, F, Cl and OH on the surface of pristine of fullerene. Density functional theory is applied to study the mechanism of the Stone-Wales defect formation in doped dodecahedral C fullerenes. We obtained the molecular structures of ideal and defected cages as well as the transition states separating them. Depending on the number of doped atoms and their relative position on the cage surface, Stone-Wales defect is formed through the single additional intermediate state or directly. The calculations are performed in the frame of density functional theory. Since we consider molecular systems with a multiplicity different from unity, Unrestricted formalism is applied. The PBE0 hybrid made with the 6-31G(d) electronic basis set [2] is used. For C Isomerization process we obtain the

minimum energy path (MEP) using the nudged elastic band (NEB) method as it is implemented in the TeraChem program package.

The hessian matrix is calculated for all located stationary points at the same level of theory and the frequency analysis is performed for confirming the true minima or transition states. Also, the intrinsic reaction coordinate analysis is performed to confirm that the located transition states separate the corresponding minima. Using the GAMESS software[3], the calculations excluding NEB are carried out.

We have performed the structural geometry of the radicals (H, F, Cl, OH) adsorption on fullerene on different sites (see Table 1).

Table 1 The structural geometry of the radicals (H, F, Cl, OH) adsorption on fullerene.

Position	C ₂₀ H	C ₂₀ Cl	C ₂₀ F	C ₂₀ OH
A	1.50	1.60	1.53	1.50
B	1.10	1.06	1.12	1.00
C	1.09	1.06	1.11	1.03
D	0.53	0.53	0.75	0.52

The activation energy barrier (in C₂₀H) of the defect formation reduces from 1.50 eV for site A to 1.1 eV for site B and C, and reaches 0.5 eV for site D.

References:

1. Chen, X., J. Chang, and Q. Ke, Probing the activity of pure and N-doped fullerenes towards oxygen reduction reaction by density functional theory. Carbon, (2018). 126(53-57).
2. Krishnan, R., et al., Self-consistent molecular orbital methods. XX. A basis set for correlated wave functions. The Journal of Chemical Physics, (1980). 72(1): p. (650-654).
3. M.W. Schmidt, K.K.B., J.A. Boatz, S.T. Elbert, M.S. Gordon, J.H. Jensen,, N.M. S. Koseki, K.A. Nguyen, S. Su, T.L. Windus, M. Dupuis,, and J.A. Montgomery, General atomic and molecular electronic structure system. J. Comput. Chem. , (1993). 14 (1347–1363).

65-нм КМОП ЭЛЕМЕНТ СОПОСТАВЛЕНИЯ, УСТОЙЧИ- ВЫЙ К ВОЗДЕЙСТВИЯМ ОДИНОЧНЫХ ЯДЕРНЫХ ЧА- СТИЦ, ДЛЯ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТИ

Антонюк А.В.

НИЯУ “МИФИ”, Москва

+7(926)267-92-94, antonyukartem@gmail.com

Ассоциативная память используется для высокопроизводительной поточной обработки данных. Элементы сопоставления в них традиционно проектируются на основе 6-транзисторных КМОП ячеек, которые обладают повышенной чувствительностью к воздействиям отдельных ядерных частиц. Сбоеустойчивые ячейки памяти STG DICE (Spaced Transistors Groups Dual Interlocked Cell) с транзисторами, разделенными на две группы так, что воздействие частицы на одну из групп не приводит к сбою, являются основой разработки сбоеустойчивых элементов сопоставления для ассоциативной памяти космического применения.

Предложен новый устойчивый к воздействиям одиночных ядерных частиц КМОП элемент сопоставления [1], схема которого приведена на рис. 1. Он включает ячейку памяти STG DICE и логический элемент “Исключительное ИЛИ” (XOR) на двух инверторах с третьим состоянием TRInv 1 и TRInv 2.

Базовый вариант топологии двух элементов сопоставления с транзисторами каждого элемента, разделенными на два блока, приведен на рис. 2. Каждый блок включает одну группу транзисторов из STG DICE и один инвертор с третьим состоянием TRInv. Между двумя такими блоками каждого элемента сопоставления на рис. 2 расположен блок соседнего элемента, что обеспечило расстояния между взаимно чувствительными узлами каждого из элементов более 4 мкм и соответственно устойчивость к воздействиям одиночных ядерных частиц с линейными потерями энергии на треке до 60-70 МэВ×см²/мг. Спроектированный элемент сопоставления использован в составе блока ассоциативной памяти сбоеустойчивого буфера ассоциативной трансляции микропроцессора [2].

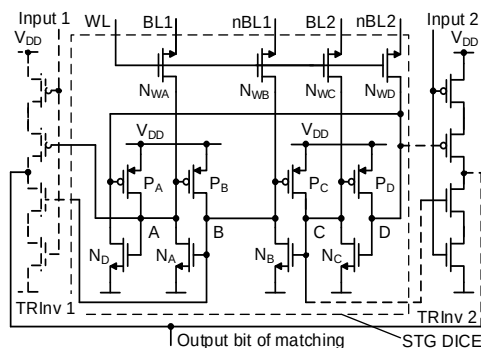


Рис. 1. Схема элемента сопоставления на основе ячейки памяти STG DICE и логического элемента XOR на двух инверторах TRInv 1 и TRInv 2.

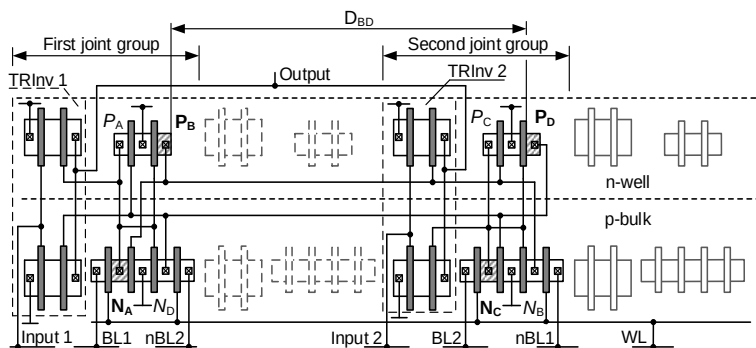


Рис. 2. Топология двух элементов с чередованием их транзисторных блоков, расстояние между взаимно чувствительными узлами $D_{BD} = 4.55\ \mu m$.

Литература

1. А.В. Антонюк, В.Я. Стенин. Моделирование переходных процессов в 65 нм КМОП логическом элементе сравнения для ассоциативных запоминающих устройств при воздействии одиночных ядерных частиц. Вестник НИЯУ МИФИ. Т. 5. № 5. С.445–453 (2016).
2. V.Ya. Stenin, A.A. Antonyuk, P.V. Stepanov and Yu.V. Katunin. Design of the 65-nm CMOS Translation Lookaside Buffer on the Hardened Elements. Proc. of TELFOR. P.1–4 (2017).

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК АЛЮМИНИЯ

Арутинов Н.Э.¹, Борсук А.С.¹

¹ *Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Физико-технический институт, Симферополь
+79787200069, kintiri1997@gmail.com*

Для оптоэлектронных устройств, работающих диапазоне длин волн порядка сотен нм, характерной особенностью являются малые толщины приемных структур, размеры которых также могут быть уменьшены до нескольких сотен нанометров, в то время как, большие линейные размеры традиционных приборов напротив уменьшают рабочие мощности и тем самым ослабляют полезный сигнал от оптического источника. Тонкопленочные структуры на основе кремния показали свою работоспособность при рабочих толщинах несколько сотен нанометров, что означает потребность в тонких пропускающих и отражающих контактах. Таким образом требуется рассмотреть физику внутренних состояний тонкоплёночных проводников.

В связи с этим цель данной работы было изучить оптические свойства тонких плёнок алюминия ионного распыления. Данная установка была выбрана из соображений более тонкого и точного направления процессов осаждения материалов на прозрачные и отражающие поверхности [1].

Оптические свойства показали высокий коэффициент отражения, значительное прохождение в широком диапазоне (рис.1), а также малый коэффициент поглощения.

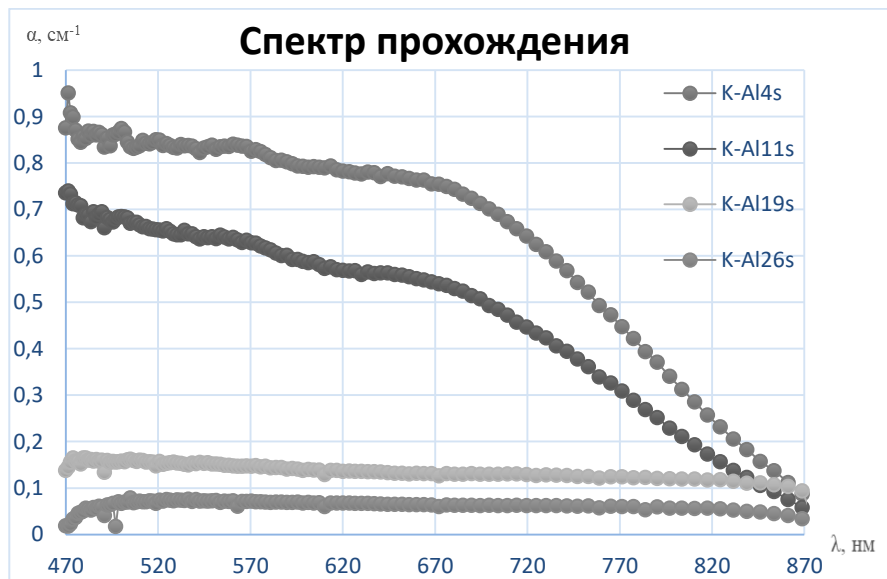


Рис.1. Коэффициент прохождения для тонкопленочного Al.

Таким образом в результате работы были исследованы тонкие пленки алюминия. Это позволяет сделать выводы о возможности их применения в тонкопленочных приборах в качестве тонких прозрачных и отражающих контактов. Оптические свойства имели широкий спектр пропускания при данной толщине, дающие возможность построения широкополосных приемных оптических систем.

Литература

1.Н.В. Борисова, В.П. Морозов, Г.О. Еремеева. Формирование систем «алюминий-оксид алюминия» при термообработке наноразмерных слоев алюминия. (Ползуновский вестник № 3 2009)

ВОЗМОЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕЛЕНГА БПЛА АКУСТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Аишурков Михаил Федорович

*Государственный университет природы, общества и человека «Дубна»
Российская Федерация (РФ), г. Дубна
1707asasin@gmail.com*

В данной статье рассматривается возможность обнаружения и определения пеленга беспилотного летательного аппарата в зонах и по периметру охраняемых объектов. Для решения задачи обнаружения и пеленга, автором предложено использовать акустической антенны в форме креста Миллса.

1. Необходимость обнаружения БПЛА

Процесс развития электроники привел к созданию нового вида войск в вооруженных силах стран. Так называемые беспилотные летательные аппараты (БПЛА), предоставили много возможностей для вооруженных сил противника. Вот некоторые из них:

- Разведывать области противника;
- Распылять биологическое, химическое оружие на территории противника;

- Переносить малые ядерные боеголовки и т. п.

Использование БПЛА, так же имеет ряд плюсов:

- Отсутствие потерь летательного состава;
- Выполнение мелких стратегических задач;
- Невысокая стоимость БПЛА;
- Возможность выполнять маневры с высокими перегрузками.

Подпуская такой летательный аппарат близко к объектам военного назначения, противник способен получить информацию о расстановке войск, расположения стратегически важных объектов, получение точных координат расположения этих объектов (для нанесения ядерного удара) и главное возможность ближней атаки.

Поэтому очень важно вовремя обнаружить БПЛА, отследить траекторию его движения и при необходимости нейтрализовать его в скором времени.

2. Акустическая антенна в форме креста Миллса

Каждый летательный аппарат имеет в своем составе двигатели для его передвижения. Эти двигатели создают акустические шумы, с помощью которых можно обнаружить сам летательный аппарат и отследить его передвижение (пеленг). В качестве антенны, предлагаю использовать акустические датчики (микрофоны) расположенные в форме креста Миллса. Одна сторона этого креста больше другой (рисунок 1).



Рис. 1. Акустическая антенна в виде креста Миллса

На датчики приходит сигнал + шум. Для начала с помощью фильтрации выделим полезный сигнал. Так как датчики расположены на разном расстоянии между собой, то фаза принимаемого сигнала всегда будет разной. Именно разность этой фазы позволить вести пеленг БПЛА.

4. Нейтрализация БПЛА

После получения сигнала об обнаружении БПЛА на местности, распознавания его в качестве вражеской единицы и его движения в сторону объекта стратегического назначения, требуется нейтрализовать такой БПЛА. Методов нейтрализации БПЛА достаточно много, вот некоторые из них:

- Акустический метод (акустическая пушка), наведение шумов;
- Оптико-электронная система;
- Отлов с помощью дронов-полицейских;
- Ближняя атака с помощью дронов-убийц и т. п.

Рассмотрена возможность распознавания дрона-нарушителя. С помощью креста Миллса и акустического метода, возможно, обнаружить вражеский БПЛА и вести его пеленг. После обнаружения вражеского беспилотника, требуется его нейтрализация. Методы нейтрализации БПЛА, так же рассмотрены в статье.

Литература

1. проблемы противодействия нетрадиционным угрозам информационной безопасности. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки СКАГС. — 2015. — № 3. — С. 281-284. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/journal/issue/299632> — Загл. с экрана.

РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, СОДЕРЖАЩИХ ГРАФЕНОВЫЕ ЛЕНТЫ

Белекеев И.А.¹, Грешняков В.А.¹, Беленков Е.А.¹

¹ *Челябинский государственный университет, Челябинск
+7(919)122-07-29, beleckeyev.ia@mail.ru*

Для конструирования наноэлектронных устройств на основе углерода очень перспективными являются материалы на основе графеновых лент. Однако структура этих лент неустойчива. Один из возможных способов получения графеновых нанолент, пригодных для использования в наноэлектронике это формирование их внутри углеродных нанотрубок. Поэтому в данной работе было выполнено модельное исследование структуры углеродных нанотрубок с инкапсулированными графеновыми лентами.

Решение поставленной в работе задачи было выполнено при использовании модельных компьютерных расчетов методом молекулярной механики ММ+, а также схемы модельного построения наноструктур из работ [1-3]. Объектами исследования были углеродные нанотрубки (10,10), заполненные ненасыщенными углеводородными молекулами и графеновыми нанолентами, сформированными на их основе.

В результате расчетов были получены геометрически оптимизированные структуры углеродных нанотрубок (10,10) с инкапсулированными в них ненасыщенными углеводородами и графеновыми лентами. При инкапсулировании углеродных нанотрубок молекулами коронена и бензоперилена плоскости молекул образуют угол 35° , с осью нанотрубки (рис.1). Молекулы упорядочены в стопки, расстояния между молекулами в которых составляет $4.58 \text{ \AA}$ в случае молекул бензоперилена и $4.93 \text{ \AA}$ для короненовых молекул. Установлено, что при полимеризации молекул коронена внутри нанотрубок могут быть сформированы креслообразные графеновые ленты (рис.2), а из бензоперилена – зигзагообразные структурные разновидности нанолент.

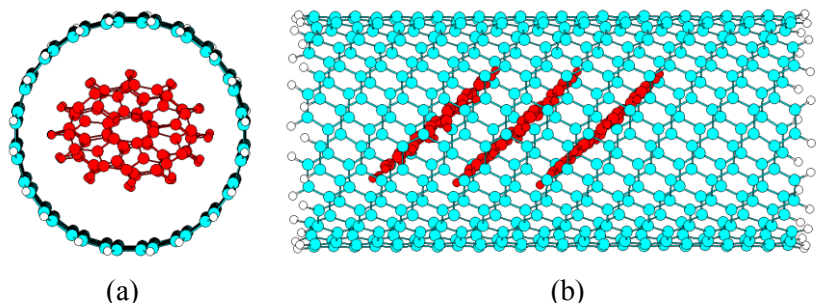


Рис.1. Фрагмент нанотрубки (10,10) с молекулами коронена: (а) вид с торца; (б) вид с боку нанотрубки.

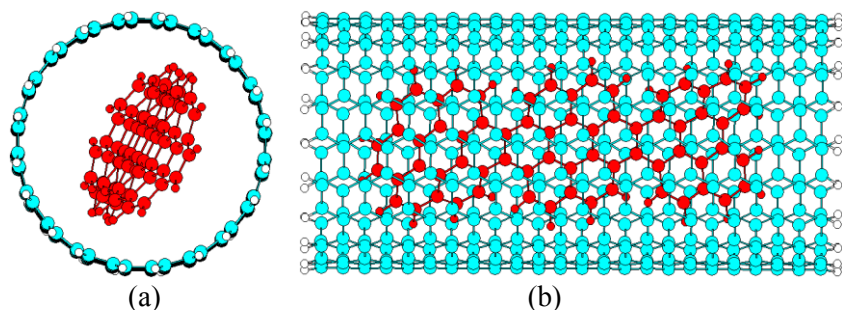


Рис.2. Фрагмент нанотрубки (10,10) с креслообразной (armchair) графеновой лентой: (а) вид с торца; (б) вид с боку нанотрубки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

Литература

1. Е.А. Беленков, Ф.К. Шабиев Структура углеродных нанотрубок, содержащих цепочки из углеродных атомов. Известия Челябинского научного центра УрО РАН. № 4(30). С. 34-39 (2005).
2. Е.А. Беленков, И.В. Шахова Структура карбиноидных нанотрубок и карбинофуллеренов. ФТТ, Т.53(11). С. 2265-2272 (2011).
3. Е.А. Беленков, Ю.А. Зинатулина Структура соединений однослойных углеродных нанотрубок на основе комбинированных топологических дефектов 5-7 и 4-8. ФТТ. Т.52(4) С.812-818 (2010).

ПОЛИМОРФНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ГРАФАНА И ФТОРОГРАФЕНА

Беленков М.Е.¹, Чернов В.М.¹

¹ Челябинский государственный университет, Челябинск
+7 (351) 7997117, me.belenkov@gmail.com

Графановые и фторографеновые слои являются перспективным материалом для нанoeлектроники, так как на их основе можно создавать наноразмерные электронные устройства различного назначения. Графановые и фторографеновые слои получают в результате химической адсорбции атомов водорода и фтора соответственно [1,2]. В данной работе теоретически изучена структура графановых и фторографеновых слоев, получающихся в результате присоединения водорода и фтора к слоям графена L_6 , L_{4-8} , L_{3-12} и L_{4-6-12} [3].

Расчет геометрически оптимизированной структуры слоев был выполнен на первом этапе хорошо апробированным для углеродных материалов методом молекулярной механики MM2, окончательные расчеты структуры и энергий сублимации слоев были выполнены методом теории функционала плотности в градиентном приближении. В результате модельных расчетов была установлена возможность устойчивого существования по пяти полиморфных разновидностей графана и фторографена, получающихся на основе гексагонального графена, а также по четыре разновидности возможно получить на основе слоев графена L_{4-8} , L_{3-12} и L_{4-6-12} . Если атомы фтора или водорода химически адсорбируются только с одной стороны слоя, формирующиеся графановые слои сильно деформируются и периодическая кристаллическая структура для таких соединений отсутствует. В случае присоединения неуглеродных атомов, так что половина атомов фтора или водорода располагается с одной стороны слоя углеродных атомов, а вторая с другой, геометрически оптимизированная структура для всех графановых слоев плоская. Возможны различные периодические способы присоединения атомов фтора и водорода, что приводит к возможности формирования различных полиморфных разновидностей (рис. 1). Углы между связями, образуемыми углеродными атомами во всех

разновидностях графана и фторографана отличаются от значения угла $109,47^\circ$, характерного для атомов углерода в структуре алмаза. Минимальные отклонения наблюдаются для полиморфной разновидности T_{1L6} (рис. 1а), модельно построенной на основе гексагонального графена. Именно эта структурная разновидность обладает максимальной энергией сублимации и должна быть наиболее устойчивой.

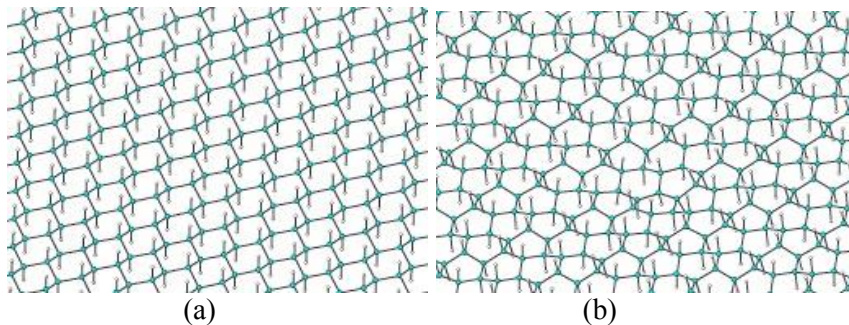


Рис.1. Геометрически оптимизированная структура графановых слоев: (а) T_{1L6} ; (b) T_{5L6} .

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

Литература

1. Т.Е. Беленкова, В.М. Чернов, Е.А. Беленков. Полиморфные разновидности графана. Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. Т.8(1). С. 49-54 (2016).
2. М.Е. Беленков. Рентгеноструктурный анализ фторографана. VI Международная научная конференция для молодых ученых «Наноматериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы»: сб. трудов материалов. Саратов: СГУ. С. 27-30 (2017).
3. Е.А. Belenkov, A.E. Kochengin. Structure and electronic properties of crystals consisting of graphene layers L_6 , L_{4-8} , L_{3-12} and L_{4-6-12} . Physics of the Solid State. V. 57. P. 2126–2133 (2015).

СПОСОБ ОСТАНОВКИ ВИНТА МАРШЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ОДНОВИНТОВОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ

Бирюков А.М.¹, Хайрисламов Д.А.¹, Бикмуллина И.И.¹

¹*«Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н.Туполева» - КАИ, г. Казань, Россия.
конт. тел.: +7(917)9249705, e-mail: aleks-herou@mail.ru*

В данной статье рассматривается способ остановки винта маршевого двигателя внутреннего сгорания (ДВС) одновинтового беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в горизонтальном положении внедрением алгоритма остановки двигателя с контролируемой временной задержкой в систему автоматического управления (САУ) БПЛА на базе микроконтроллера STM32F103CBT6 с операционной системой FreeRTOS.

В рамках работы над БПЛА - квадрокоптер с выделенным двигателем горизонтального движения, возникла задача остановки винта маршевого двигателя в горизонтальном положении для сохранения его целостности при посадке аппарата. Для решения данной задачи необходимо внедрить алгоритм, основанный на управлении блоком электронного зажигания ДВС для остановки винта в необходимом положении. Данный алгоритм основан на выполнении САУ следующей последовательности действий:

1. При получения САУ сигнала, заднего фронта импульса, (рис.1, временная диаграмма А) на остановку двигателя от наземной станции управления (НСУ) или с пульта дистанционного управления начинается выполнение алгоритма остановки ДВС;

2. Сбрасываются обороты маршевого двигателя до оборотов холостого хода (на рис.1, временная диаграмма Б) на некоторый интервал времени «Таймер выравнивания оборотов» (на рис.1, временная диаграмма В), чтобы вращение винта стало равномерным, период $t_0 = \text{const}$ (рис.1, временная диаграмма Б).

Скорость вращения винта ДВС устанавливается САУ изменением количества подаваемой топливно-воздушной смеси в камеру сгорания, управляя углом поворота сервопривода, посредством подачи широтно-импульсной модуляции (ШИМ) (рис.1, временная диаграмма Г), где t_{xx} - ширина сигнала ШИМ при выставленных оборотах холостого хода. По истечении времени, выделенного на выравнивание оборотов двигателя, САУ ожидает переднего фронта импульса с датчика Холла, установленного на корпусе ДВС, для запуска таймера задержки перед остановкой подачи искры на ДВС «Таймер гашения» (рис.1, временная диаграмма Д);

3. По истечении таймера САУ отключает питание блока электронного зажигания ДВС «Ключ питания блока электронного зажигания» (рис. 1, временная диаграмма Е), тем самым осуществляя остановку одновинтового маршевого двигателя.

На данный момент написано программное обеспечение для САУ, и наша команда приступила к испытаниям алгоритма.

В качестве вывода можем сказать, что в лабораторных условиях алгоритм поэтапно отрабатывает свои функции, однако реальные условия вносят свои параметры неопределённости и коллизии.

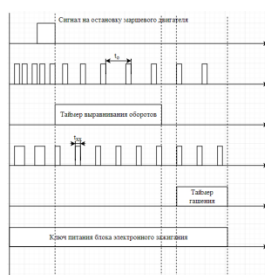


Рис. 1. Временная диаграмма работы алгоритма остановки винта маршевого ДВС в горизонтальном положении

Литература

1. Андрей Курниц FreeRTOS — операционная система для микроконтроллеров. (2011)
2. Handbook for Mbed OS 2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://os.mbed.com/handbook/Homepage> – (Дата обращения: 26.02.2018)

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ СИ ПЛЕНОК

Бисенбаева Б. К.¹, Козловский А.Л.^{1,2}

¹*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана*

²*Астанинский филиал Института ядерной физики, г. Астана*

+77089232504, berikgul.berikgul@gmail.com

На протяжении долгого времени металлические тонкие пленки находят все более широкое применения в различных областях науки и техники [1-2]. Интерес вызван многообразием структур и некоторыми уникальными физико-химическими свойствами таких материалов. В частности, представляют интерес тонкие пленки на основе меди с контролируемой кристаллографической текстурой в связи с перспективами использования пленок в устройствах микро- и наноэлектроники. В связи с перспективами применения тонких пленок в микроэлектронике необходимо знать их устойчивость к различным внешним воздействиям, в том числе к воздействию ионизирующего излучения [3-4].

В данной работе представлены результаты исследований влияния облучения низкоэнергетичными ионами He^{+2} на структурные свойства Си пленок. С помощью РЭМ изучено изменение морфологии поверхности образцов до и после облучения.

На рисунке 1 представлены РЭМ изображения исследуемых образцов Си пленок до и после облучения. Как видно из представленных данных на изображениях, поверхность исходных образцов состоит из зерен ромбовидной формы, средний размер которых составляет 15-30 мкм.

Увеличение дозы облучения до $1 \cdot 10^{17}$ ион/см² и выше приводит к формированию трещин и аморфных включений на поверхности образца.

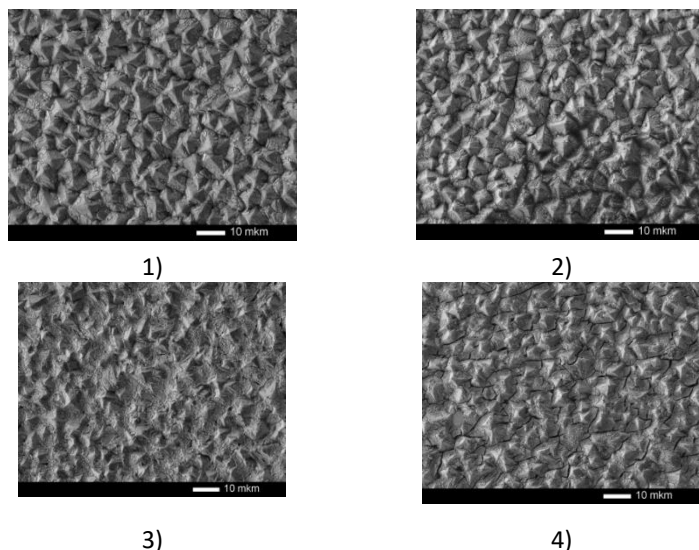


Рис. 1. РЭМ изображения Cu пленок:

1) исходный; 2) $1 \cdot 10^{16}$ ион/см²; 3) $1 \cdot 10^{17}$ ион/см²; 4) $3 \cdot 10^{17}$ ион/см²

Литература

1. Cavaleiro, J.T.M. De Hosson (Eds.), *Nanostructured Coatings*, Springer, Berlin, 2006.
2. J. Musil, R. Daniel, P. Zeman, O. Takai/ Depth distributions of elements in monoatomic and compound coatings deposited onto copper and silicon by IBAD. // *Thin Solid Films* 478, 238 (2005).
3. S. V. Konstantinov, F. F. Komarov, V. V. Pilko, V. A. Kukareko/ Wear resistance and radiation tolerance of He⁺-irradiated magnetron sputtered TiAlN coatings // *High Temperature Material Processes*. – 2014. – Vol.18, № 1–2. – p. 135–141.
4. Hong, M., Ren, F., Zhang, H., Xiao, X., Yang, B., Tian, C., Jiang, C. (2012). Enhanced radiation tolerance in nitride multilayered nanofilms with small period-thicknesses. *Applied Physics Letters*, 101(15).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ПОЛИМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПЕРКОЛЯЦИИ

Боков К. А.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

+7-952-652-0848, cyrilevel@rambler.ru

В настоящее время развиваются технологии изготовления наноматериалов. Особый интерес вызывают полимерные нанокомпозиты, содержащие углеродные нанотрубки в силу своих необычных свойств. Известно, что при добавлении углеродных нанотрубок в полимер можно регулировать его свойства. Например, увеличить прочность нанокомпозита, сделать полимер проводником и т.д. Создание новых наноматериалов представляет высокотехнологичный, трудоемкий и финансово затратный процесс. Поэтому возникает потребность в проведении лабораторных и компьютерных экспериментов и теоретическое обоснование их результатов. Теория перколяции зарекомендовала себя при компьютерном моделировании структуры и изменения свойств нанокомпозитов [например, 1].

Целью исследования является построение компьютерной модели структуры тонкой плёнки полимера, модифицированного углеродными нанотрубками. Для достижения цели автором решены следующие задачи. Проведен анализ исследований по проведению лабораторных экспериментов, математического и компьютерного моделирования структур и свойств полимерных нанокомпозитов, содержащий углеродные нанотрубки. Предложена перколяционная модель структуры тонкой пленки полимера, модифицированного одностенными углеродными нанотрубками. Разработан комплекс программ и эффективных алгоритмов для компьютерного моделирования процесса структурообразования тонкой пленки полимера, содержащего одностенные углеродные нанотрубки, и прогнозирования изменения его свойств. Проведен теоретический анализ результатов компьютерного моделирования. Результаты компьютерного моделирования могут быть использованы для прогнозирования

ния значения концентрации одностенных углеродных нанотрубок в полимере для изменения какого-либо свойства наноматериала.

Предложена решеточная перколяционная модель тонкой пленки полимера, модифицированного углеродными нанотрубками. В рамках модели полимерная матрица представлена квадратной решеткой с линейным размером L , нанотрубки – k -меры (k подряд занятых узлов решетки). При моделировании используются периодические граничные условия. Для равномерного распределения k -меров на решетке, для распределения их по кластерам и поиска перколяционного кластера разработаны эффективные алгоритмы, которые описаны в [2]. Для $k = 1-3$ результаты моделирования совпадают с результатами других исследователей [3-5]. Получены результаты моделирования для широкого диапазона длины k -мера, исследованы k -меры переменной длины и различной формы. Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта № С-26/793 и гранта РФФИ (№ 17-41-590649).

Литература

1. А.К. Микитаев, Г. В. Козлов. Перколяционная модель усиления нанокомпозитов полимер/углеродные нанотрубки. *Materials Physics and Mechanics*. Т. 22. С. 101-106 (2015).
2. К. А. Боков, М. М. Бузмакова. Компьютерное моделирование перколяции k -меров на квадратной решетке. *Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика*. Вып. 1 (2018).
3. R. M. Ziff. Test of scaling exponents for percolation-cluster perimeters. *Phys. Rev. Lett.* V. 56. P. 545-548 (1986).
4. V. A. Cherkasova, Y. Y. Tarasevich, N. I. Lebovka, N. V. Vygornitskii. Percolation of aligned dimers on a square lattice. *Eur. Phys. J. B*. V. 74, No 2. P. 205-209 (2010).
5. Н. Н. Кармазина, Ю. Ю. Тарасевич. Ориентированная перколяция линейных 3-меров. Тезисы XVII конференции МКО-2010. 2010. URL: <http://www.mce.su/rus/archive/mce17/doc62569/>

МОДЕЛЬ ПРЫЖКОВОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОСТРОВКОВОЙ ПЛЕНКИ РВТЕ

Бухаров Д.Н.¹, Кучерик А.О.¹, Истратов А.В.¹, Осипов А.В.¹

¹ Организация, город ВлГу им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
89005867143, buharovdn@gmail.com

Островковые и гранулированные металлические пленки обладают рядом уникальных свойств. В частности, в этих металлических пленках наблюдался диэлектрический характер проводимости, т.е. было обнаружено, что электрическая проводимость пленок с ростом температуры увеличивается. [3, 4]

Структура островковых пленок РbТе может моделироваться как неупорядоченная система частиц, агрегированных в кластеры. В таких структурах перенос носителей заряда обусловлен туннелированием электронов.

Таким образом, прыжковую проводимость между частицами в неупорядоченных системах можно смоделировать как сеть случайных резисторов, называемая сетью Миллера-Абрахама. [1]

Используя предложенный подход были проведены расчеты в для сети из 100 частиц при варьировании величины параметра, соответствующего температуре. Проводимость между двумя частицами представлялась в экспоненциальной форме в зависимости расстояния и энергии. Была проведена визуализация случайной резисторной сети (рис.1), найдена энергия и средняя проводимость для всех частиц (рис.2). Так же было установлено, что кулоновское взаимодействие играет важную роль в вычислении прыжковой проводимости между частицами, а также что полная энергия всех реализаций переходов для одного электронного прыжка может соответствовать распределению Гаусса.[2] Из проведенных расчетов было выяснено, что с увеличением температуры интенсивность прыжков увеличивается, поэтому проводимость так же возрастает. Характер полученных модельных зависимостей соответствует теоретическим и экспериментальным данным [3] , что позволяет в первом приближении применить данных подход для исследования электропроводных свойств островковых пленок РbТе.

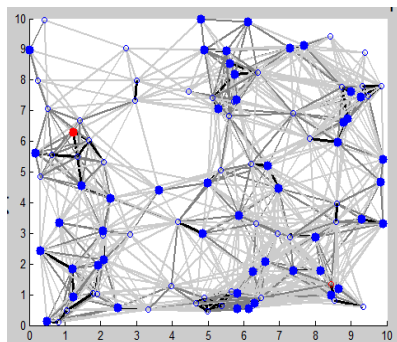


Рис.1. Реализация случайной сети для одного прыжка электрона

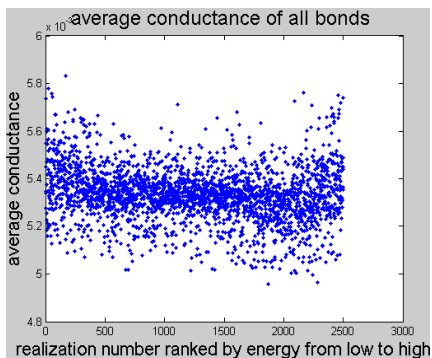


Рис.2. Средняя проводимость для всех частиц

Литература

1. Почтенный, А. Е. Прыжковая проводимость на постоянном токе в собственных и примесных органических полупроводниках : монография. (Минск : БГТУ, 2016).
2. Amirhossein Biabangard Oskouyi, Uttandaraman Sundararaj and Pierre Mertiny Tunneling Conductivity and Piezoresistivity of Composites Containing Randomly Dispersed Conductive Nano-Platelets. Materials. Vol. 7, P. 2501-2521 (2014).
3. Antipov A.A. Araklian etc. Electrical properties of metal cluster structures formed on the surface of dielectrics. Technical Physics Letters, vol. 40, No 6, pp. 529-532 (2014).
4. Kavokin, A. Kutrovskaya, S. etc. The crossover between tunnel and hopping conductivity in granulated films of noble metals Superlattices and Microstructures, vol. 111, pp. 335-339, 2017.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Гавриков А.А.¹, Смирнов В.И.¹

¹ Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им.
В. А. Котельникова РАН.
a.gavrikoff@gmail.com

Перспективные энергетические технологии постепенно входят в нашу жизнь и в будущем доля «зелёной» энергии будет только расти. Как известно, КПД солнечных батарей пока не превышает 15-20%, значит более 80% падающей на него солнечной энергии преобразуется в тепло. С каждым градусом нагрева номинальная мощность батареи снижается примерно на 0,4%, в результате чего падение мощности может достигать 25%. К тому же высокая температура ускоряет деградацию солнечных модулей.

Качество теплоотвода солнечной батареи в основном зависит ее конструкции, материала подложки и от качества теплового контакта между полупроводником и подложкой, которое определяется тепловым сопротивлением. Несмотря на важность измерения теплового сопротивления солнечных батарей, стандарты по его измерению пока отсутствуют, а количество публикаций минимально.

В одной из зарубежных работ[1] предложено рассматривать солнечный модуль как совокупность соединённых последовательно диодов, что позволяет использовать метод JESD 51-14, основанный на пропускании через объект ступенчато изменяющейся мощности и измерении отклика – температуры перехода относительно начальной температуры. Поскольку температура в процессе измерения должна поддерживаться постоянной, то измерение проводилось с использованием двух «холодных плит» - с обеих сторон исследуемого объекта при стабилизированной температуре.

У солнечных батарей мощностью десятки и сотни ватт размеры существенно превышают размеры выпускающихся «холодных» плит, что делает метод неприменимым для мощных панелей.

Нами использовался модуляционный метод[2], который использует мощность, модулированную по гармоническому закону, и

определяет переменную составляющую температуры, что позволяет проводить измерения без использования «холодных» плит и исключить влияние температурного тренда на результаты измерения.

Цель исследований - измерение компонент теплового сопротивления мощного солнечного модуля с большой площадью поверхности. Объектом исследований являлся солнечный модуль из поликристаллического кремния, состоящий из 36 поликристаллических солнечных элементов площадью 125×125 мм каждый, площадь поверхности модуля - 700×550 мм, суммарная мощность - 50W, напряжение холостого хода 23.6V, ток при работе на нагрузку 2.55 A.

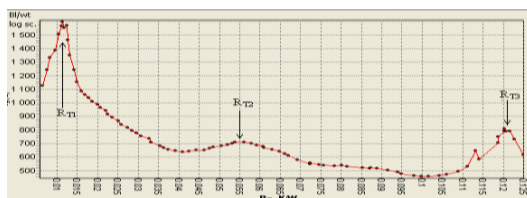


Рис.1. Результаты измерения теплового сопротивления

Зависимость теплового импеданса от частоты представлена на верхнем графике, с помощью его дифференцирования можно выявить компоненты теплового сопротивления элементов конструкции солнечной батареи. Для исследуемого солнечного модуля отчетливо наблюдаются три пика, соответствующие трем компонентам: $R_{T1} = 0.0115$ K/W, $R_{T2} = 0.055$ K/W и $R_{T3} = 0.121$ K/W. Компонента R_{T2} соответствует тепловому сопротивлению «переход-корпус» солнечного модуля и проявляется на частоте модуляции 0.5 Hz, компонента R_{T3} — тепловому сопротивлению «переход-карас».

Литература

1. O. Dupré, R. Vaillon, M.A. Green. Thermal Behavior of Photovoltaic Devices. Physics and Engineering. 2015.
2. V. Smirnov, V. Sergeev, A. Gavrikov, A. Shorin. Thermal impedance meter for power MOSFET and IGBT transistors // IEEE Transactions on Power Electronics, Year: 2017, Volume: PP, [Issue: 99](#)

КВАНТО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРНОЙ МОЛЕКУЛЫ $C_{60}F_{18}$ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЕЁ АДсорбЦИИ НА Au(111)

Горячевский А.В.^{1,2}, Суханов Л.П.^{1,2}

¹ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва

² Московский физико-технический институт, Долгопрудный Московской
обл.

тел: +79253142750, e-mail: goryachevsky94@gmail.com

Для адекватного описания адсорбции и самоорганизации полярных молекул $C_{60}F_{18}$ на поверхности Au(111) выполнены квантово-химические исследования электронных и электрических свойств отдельной молекулы: её электрического дипольного момента (ЭДМ), распределений электростатического потенциала, напряжённостей электрического поля и электронной плотности. С помощью различных методик теории функционала плотности (ТФП) впервые рассчитаны эти свойства с контролируемой точностью. Получена достоверная величина электрического дипольного момента молекулы $C_{60}F_{18}$. Показано, что известное приближение точечного диполя для напряжённости электрического поля выполняется с точностью 30% уже на расстояниях, вдвое больших размера молекулы. Проведено сравнение рассчитанных по ТФП низших вакантных (НВМО) и высших занятых (ВЗМО) молекулярных орбиталей с их образами, ранее полученными с помощью сканирующей туннельной спектроскопии (СТС).

Фторид фуллерена $C_{60}F_{18}$ занимает особое место среди прочих фтор-фуллеренов $C_{60}F_n$. Во-первых, он не имеет изомеров, что облегчает исследование его электронной структуры. Во-вторых, благодаря расположению 18 атомов фтора лишь на одной стороне сферического каркаса C_{60} , молекула обладает большим ЭДМ [1,2], направленным по её оси симметрии третьего порядка, что создаёт предпосылки для приготовления из этих молекул упорядоченных структур нанометрового масштаба, перспективных для применения в молекулярной электронике. В проведённых нами экспериментах

наблюдалось упорядочение молекул на поверхностях разной химической активности: не только с химической $C_{60}F_{18}/Ni(100)$ [3-5], но и с физической $C_{60}F_{18}/Au(111)$ [6] формами адсорбции. Методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) при комнатной температуре были обнаружены [6] плотноупакованные островки из молекул $C_{60}F_{18}$ на поверхности $Au(111)$ с упорядоченной доменной структурой внутри них и преимущественно ортогональной ориентацией ЭДМ молекулы относительно подложки. Для адекватного описания адсорбции и самоорганизации молекул необходимо знать электронные и электрические свойства отдельной молекулы. С другой стороны, выявленная в [6] при температуре жидкого гелия физическая адсорбция отдельной молекулы $C_{60}F_{18}$ на поверхности $Au(111)$ предполагает малое возмущающее воздействие на саму молекулу, что предоставляет уникальную возможность для проверки пригодности различных схем ТФП к описанию электронного строения молекулы $C_{60}F_{18}$.

Литература

1. Neretin I.S., Lyssenko K. A. Antipin M.Yu. et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2000. V.39(18). P.3273.
2. Neretin I.S., Lyssenko K.A., Antipin M.Yu. et al. *Russ. Chem. Bull.* 2002. V.51(5). P.754.
3. Лебедев А.М., Суханов Л.П., Бржезинская М.М. и др. *Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед.* 2012. №10. С.53.
4. Лебедев А.М., Меньшиков К.А., Свечников Н.Ю. и др. *Изв. РАН. Сер. физ.* 2013. Т77. №9. С.1290.
5. Лебедев А.М., Суханов Л.П., Бржезинская М.М. и др. *Поверхность. Рентген., синхрот. и нейтрон. исслед.* 2017. №8. С.30.
6. Bairagi K., Bellec A., Chumakov R.G. et al. *Surf. Sci.* 2015. V.641. P.248.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА НАНОПОРОШКОВ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ТИПА «ЯДРО-ОБОЛОЧКА»

**Гребенников И.С.¹, Савченко А.Г.¹, Зайцева М.П.²,
Мурадова А.Г.², Юртов Е.В.²**

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

² РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

Тел.: 8-925-222-11-63

E-mail: da_prorabinho@mail.ru

Востребованность исследования нанопорошков на основе оксидов железа с каждым годом повышается, благодаря их химической стабильности (менее чувствителен к окислению чем магнитные металлы – кобальт, железо, никель) и оптимальным магнитным свойствам (высокая коэрцитивная сила, высокая намагниченность насыщения), что открывает новые возможности для их потенциального использования в различных технологических сферах, в том числе биомедицинских приложениях. Применение магнитных нанопорошков оксидов железа сдерживается их склонностью к агрегации за счет анизотропного дипольного притяжения и, как следствие, деградации их физических свойств, определяющих конкретную область внедрения.

Одним из наиболее эффективных решений данной проблемы является покрытие нанопорошков на основе оксидов железа защитным инертным материалом. Принимая во внимание низкую стоимость и широкую доступность, в качестве инертного покрытия используют диоксид кремния, обеспечивающий коллоидную стабильность магнитных нанопорошков, повышенную химическую стойкость и сохранность их магнитных свойств, а также снижение токсичности.

В этой связи целью данной работы являлось изучение фазово-структурных характеристик покрытых кремнеземом нанопорошков на основе оксидов железа типа «ядро-оболочка» различной дисперсности.

В качестве «ядра» использовались нанопорошки, представляющие собой нестехиометрическое соединение магнетит-

маггемитового ряда [1], различной дисперсности (от 60 до 100 нм), полученные методом старения. Оболочка из диоксида кремния на поверхности нанопорошков получена модифицированным методом Штобера [2]. Полученные нанопорошки были исследованы методами просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, рентгеноструктурного и рентгенофлуоресцентного анализа, мессбауэровской спектроскопии.

Отработана методика получения покрытых диоксидом кремния нанопорошков оксидов железа по типу «ядро-оболочка». По результатам электронно-микроскопических исследований определена морфология и размеры нанопорошков, толщина их покрытия. Рентгенофлуоресцентный анализ подтвердил наличие диоксида кремния в покрытых образцах нанопорошков. Из рентгеновских данных определен фазовый состав, включающий фазу магнетит/маггемит (структурный тип шпинели) и аморфную фазу, относящуюся к оболочке в виде некристаллической формы кремнезема. Проведен сравнительный анализ параметров решетки нанопорошков до и после покрытия. С учетом результатов мессбауэровской спектроскопии исследованы изменения структурных характеристик и формульных коэффициентов вакансий нанопорошков оксидов железа до и после покрытия диоксидом кремния.

Литература

1. С.В. Салихов, А.Г. Савченко, И.С. Гребенников, Е.В. Юртов Фазовый состав и структура нанопорошков оксидов железа, полученных химическими методами. – Извести РАН. Серия физическая, 2015, Т.79, №9, С.1251-1258.
2. W. Stober, A. Fink Controlled Growth of Monodisperse Silica Spheres in the Micron Size Range. – Department of Radiation Biology and Biophysics, Medical School, University of Rochester, January 1968, Volume 26, Issue 1, Pages 62-69.

УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ СПОНТАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В ПЛАЗМОННЫХ ПАТЧ-НАНОАНТЕННАХ

Гриценко А.В.¹, Курочкин Н.С.^{1,2}, Елисеев С.П.¹,
Витухновский А.Г.^{1,2}

¹ *Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*
тел. +79099482401., e-mail: aleksandr.gritsiyenko@phystech.edu

При взаимодействии света с металлическими наноструктурами вблизи поверхности металла могут возникнуть коллективные колебания электронов (поверхностный плазмонный резонанс), что приводит к усилению поля вблизи наноструктур. Это позволяет на основе металлических наноструктур (наноантенн) создавать малогабаритные (~ 10 нм) и одновременно быстродействующие (~ 1 ТГц) фотонные устройства.

В настоящей работе исследовались плазмонные патч-наноантенны (plasmonic nanopatch antennas), состоящие из металлических наночастиц и металлических пленок, покрытых тонким слоем диэлектрической прослойки. Внутрь патч-наноантенны помещались квантовые точки CdSe/CdS/ZnS, играющие роль излучателей. На рис. 1 представлена модель треугольной плазмонной патч-наноантенны с квантовыми точками.

При совпадении частоты излучения квантовой точки с частотой локализованного плазмонного резонанса наноантенны возможно значительное усиление сигнала фотolumинесценции квантовой точки, а также укорочение времени ее спонтанного излучения, характеризующееся фактором Парселла [1]. Данные наноантенны были исследованы на конфокальном флуоресцентном микроскопе Microtime 200. Экспериментально продемонстрировано сокращение времени жизни возбужденных состояний квантовых излучателей, помещенных в патч-наноантенну. Полученный коэффициент Парселла составил значение около 620 [2].

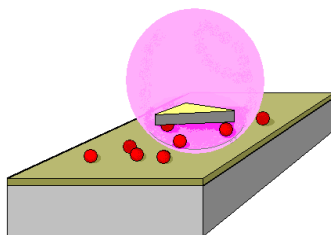


Рис.1. Трехмерная модель патч-наноантенны. Слой Al (нижний) покрыт слоем Al_2O_3 , на котором расположены квантовые точки. Выше слоя квантовых точек находится серебряная наночастица треугольной формы. Сферой показано излучение квантовой точки, выходящее из патч-наноантенны

Было проведено моделирование данной структуры в математическом пакете Comsol Multiphysics. Сделано сравнение факторов Парселла, найденных из эксперимента и из расчета в модели.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18-02-00811 А, 16-29-11805 офи_м, 17-02-01408 А и 16-02-00594 А.

Литература

1. Hoang, T. B. et al. Ultrafast spontaneous emission source using plasmonic nanoantennas. Nat. Commun. 6:7788 (2015).

2. С. П. Елисеев, Н. С. Курочкин, С. С. Вергелес, В. В. Сычев, Д. А. Чубич, П. Аргиракис, Д. А. Колымагин, А. Г. Витухновский. Эффект Парселла в треугольных плазмонных патч-наноантеннах с трехслойными коллоидными квантовыми точками. Письма в ЖЭТФ, 105:9 (2017), 545–549.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И УСТАНОВОК ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КАК ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Гулько М.С.¹, Пушин Д.В.¹, Назаров М.А.¹

*¹ Самарский государственный технический университет, Самара
89379915975, misha-gunko@ro.ru*

В последнее время вопросам защиты окружающей среды уделяется все большее внимание. Важным направлением природоохранной деятельности по мнению Минприроды РФ является реализация проекта по сокращению сброса загрязненных сточных вод. Одна из последних инициатив в этой сфере – введение крупных штрафов за негативное воздействие на экологию для предприятий пищевой промышленности (ППП), в большинстве отраслей которой сегодня наблюдается значительный рост производственных мощностей, а, следовательно, происходит увеличение объемов их жидких отходов, зачастую не соответствующих требованиям нормативных актов [1]. Очевидно, что в сложившейся ситуации заводы по выпуску продуктов питания, будут вынуждены возводить новые и модернизировать существующие системы водоотведения.

Известно, что, например, работа очистных сооружений молочных заводов отличается значительной неравномерностью поступления сточных вод и существенными колебаниями степени загрязнения [1,2]. Сброс в водоемы таких стоков после их обработки по существующим технологиям, которые чаще всего обладают низкой эффективностью, приводит к превышению допустимых концентраций загрязняющих веществ и нарушению нормального функционирования сложившихся экосистем. Наиболее перспективным вариантом решения этой проблемы является повышение уровня автоматизации процессов и установок очистки сточных вод. Все это свидетельствует об актуальности исследований в области автоматического управления аппаратами сооружений водоотведения промышленных предприятий, и в частности заводов пищевой индустрии.

Обобщенная структура системы автоматического управления (САУ) очистными сооружениями ППП включает три многомерных

САУ: установками механической очистки (УМО), установками физико-химической очистки (УФХО) и установками биологической очистки (УБО). Особый интерес ввиду существенных нелинейности и нестационарности протекающих процессов, невозможности измерения ряда технологических координат и наличия сложных взаимосвязей между отдельными этапами обработки воды представляют УФХО и УБО [1-3]. Структурный и параметрический синтез эффективных с точки зрения надежности, качества очистки и затрат энергии систем автоматизации установками водоотводящих сооружений очевидно невозможны без решения задачи идентификации их объектов управления. Поэтому целью работы является нахождение адекватного реальным условиям математического описания отдельных технологических процессов и установок очистки сточных вод как объектов автоматизации в форме уравнений и структур и создание на их основе обобщенной модели системы водоотведения ППП. Такой подход существенно облегчает исследование и оптимизацию проектируемых САУ, сокращает финансовые и временные затраты на их настройку и ввод в эксплуатацию.

Литература

1. Степанов С.В., Солкина О.С., Морозова К.М., Степанов А.С., Соколова Т.В., Жукова М.А. Биологическая очистка сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранном биореакторе (часть 1). Водоснабжение и санитарная техника. № 12. С. 28-34 (2016).
2. Назаров М.А., Пушин Д.В., Гунько М.С. Математическое описание сатуратора поверхностного типа как объекта автоматизации флотационной очистки сточных вод. International Innovation Research. Ч. 1. С. 66-69 (2017).
3. Пономарев В.Г. Процессы разделения суспензий сточных вод. Конструкции сооружений (М.: Издательство АСВ, 2015).

ИМПУЛЬСНОЕ ЛАЗЕРНОЕ НАПЫЛЕНИЕ И ИОННО-ЛУЧЕВОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК СО- ЕДИНЕНИЙ A^3B^5 НА Si ДЛЯ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Девицкий О.В., Сысоев И.А., Касьянов И.В.¹

¹ Северо-Кавказский Федеральный университет, Ставрополь, Россия
8(8652) 95-68-25, v2517@rambler.ru

Полупроводниковые соединения A^3B^5 имеют достаточно хорошие характеристики для фотоэлектрического преобразования солнечного излучения. Однако более широкое их использование в энергетике является в следствии высокой себестоимости производства фотоэлектрических преобразователей на их основе. Соединения A^3B^5 используются в основном для многопереходных фотоэлектрических преобразователей, причем дальнейшее понижение себестоимости каскадных фотоэлектрических преобразователей связано с использованием в качестве подложки кремния [1]. Создание высокоэффективных фотоэлектрических преобразователей, состоящих из соединений A^3B^5 , выращенных на дешевых и прочных кремневых подложках, является одной из приоритетных задач современной фотовольтаики. Одним из путей решения этой задачи является поиск некоторых технологических способов усовершенствования, направленных на снижение количества дефектов кристаллической структуры на границе пленка соединения A^3B^5 – кремниевая подложка, а также поиск перспективных методов получения, которые могли бы заметно упростить и удешевить процесс выращивания тонких пленок и гетероструктур GaP, GaAs и AlGaAs на Si без потери качества. Основными проблемами получения слоев соединений A^3B^5 на подложках Si являются большое рассогласование постоянной решетки, а также коэффициента термического расширения. Различие в этих параметрах порождает возникновение прорастающих дислокаций в эпитаксиальных пленках A^3B^5 и, как следствие, снижение эффективности солнечных элементов на их основе. Наиболее перспективным в этом отношении методом, обеспечивающим низкотемпературный синтез тонких пленок A^3B^5 , является метод импульсного лазерного напыле-

ния. Одним из основных достоинств данного метода является его дискретный (прерывный) характер напыления вещества мишени на подложку [2]. Также хорошо зарекомендовал себя в получении пленок многокомпонентных соединений A^3B^5 на Si метод ионно-лучевого осаждения. Одним из его основных преимуществ его является то, что в едином технологическом процессе перед непосредственным осаждением вещества мишени реализована очистка ионным пучком поверхности подложки. Этот факт также актуален для получения тонких пленок соединений A^3B^5 на Si.

Целью исследования является получение тонких пленок A^3B^5 на Si, исследование их структурных свойств и спектральных и фотоэлектрических характеристик фотоэлектрических преобразователей на их основе. В результате проведения исследования было определено, что при напылении пленок GaP и AlGaAs на подложку кремния p-типа проводимости и последующей термообработке в подложке создается p–n-переход между подложкой p-Si и слоем n-Si, который возникает в результате диффузии атомов мышьяка в подложку в первом случае, атомов фосфора во втором случае. Данный p–n-переход может быть использован в качестве первого p–n-перехода многопереходного фотоэлектрического преобразователя на основе кремния.

Литература

1. Lunin L. S., Lunina M. L., O. V. Devitsky, Sysoev I. A. Pulsed laser deposition of $Al_xGa_{1-x}As$ and GaP thin films onto Si substrates for photoelectric converters. Semiconductors. – 2017. – Volume 51, Issue 3. –pp. 387 – 391.
2. Девицкий О.В., Сысоев И.В., Касьянов И.В., Васильев В.В., Батищев В.В. Получение солнечных элементов на основе пленок GaP и $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ на подложках кремния методом импульсного лазерного напыления. Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики: сб. тр. V Всерос. научн. конф. (27-28 октября 2017 г., Чебоксары) / под ред. А.В. Кокшиной, А.В. Смирнова, В.Д. Кочакова, Е.И. Терукова, А.В. Бобыля. – Чебоксары, 2017. 140 с.

НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕ В РЕЖИМЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ ЗОНДА НА ЧАСТОТЕ СОБСТВЕННОГО РЕЗОНАНСА

Довгополая Е.А., Мещеряков В.В., Масленников В.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва*

8 916 115 87 67, e.a.dovg@yandex.ru

В области наномасштабных исследований физико-механических свойств материалов метод инструментального индентирования является одним из основных [1]. На сегодняшний день крайне актуальна задача улучшения технических характеристик сканирующих нанотвердомеров в части улучшения точности вкпе со снижением требований к параметрам измерительной головки.

Общепринято производить одновременное измерение контактной силы и глубины вдавливания индентора в режиме статического нагружения образца для снятия P-h-диаграммы. Согласно исследованиям [2] применение в наноиндентировании принципов, схожих с динамическим методом силовой спектроскопии, позволяет значительно снизить требования к вибро- и термоизоляции измерительной головки. Проведенное исследование показало, что использование зонда балочного типа с алмазной иглой в режиме автоколебаний на частоте собственного резонанса позволяет определить силу контактного взаимодействия путем измерения сдвига резонансной частоты. Физическая имплементация соответствующей измерительной головки прибора подразумевает наличие петли регулирования, обеспечивающей постоянство амплитуды колебаний зонда в процессе вдавливания наконечника в поверхность образца динамическим образом. В качестве объекта регулирования в такой петле используется контур возбуждения, представляющий собой автогенераторную схему, настроенную на основную моду поперечных колебаний балочного зонда. При продавливании исследуемого образца иглой в режиме автоколебаний зонда амплитуда колебаний начинает уменьшаться. Система управления с отрицательной обратной связью стремится удерживать неизменной амплитуду колеба-

ний зонда за счет увеличения сигнала возбуждения балки. Регулятор обеспечивает необходимые точность, быстродействие, а также устойчивость системы управления.

Для устойчивой работы петли регулирования величина постоянной времени регулятора выбрана значительно больше величин характерных постоянных времени элементов, связанных с инерционностью объекта регулирования [3]. Основным ограничением быстродействия петли регулирования в режиме динамического индентирования является величина постоянной времени установления колебаний зонда при внешнем воздействии, связанная с резонансной частотой и добротностью. Устойчивость и точность работы петли регулирования обеспечивается выбором постоянной времени регулятора с учетом значения коэффициента петлевого усиления.

Рассматриваемый метод наноиндентирования в режиме автоколебаний зонда на частоте собственного резонанса и предлагаемая для его реализации измерительная головка обеспечивают большую защищенность от дрейфовых помех, что позволяет повысить точность прибора при снижении требований к созданию специальных изоляционных условий.

Литература

1. Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology. *Journal of Materials Research*. 2004, № 1, v. 19, pp. 3 – 20.
2. Мещеряков В.В., Масленников В.В., Мелекесов Э.В. Динамический метод наноиндентирования. *Измерительная техника*. 2017, № 8, с. 15 – 19.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.И. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб, Изд-во “Профессия”, 2003. – 752с.

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОШИБОК В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ ОТ БИТОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Доможаков Д.А.¹

¹ НИЯУ МИФИ, Москва

89250386572, DADomozhakov@mephi.ru

К современным приёмопередатчикам последовательного канала предъявляется требование по минимальной допустимой частоте возникновения битовых ошибок при обмене, равной или меньшей 10^{-12} [1].

На больших скоростях частота битовых ошибок существенно зависит от джиттера – нежелательных частотных или фазовых отклонений сигнала от нормы [2].

Вероятность возникновения ошибки (Bit Error Rate или BER) - число неверно принятых бит, поделенное на общее число переданных. Актуальным является проведение расчёта BER на этапе разработки. Разработанный автором подход позволяет сократить время проектирования, а также даёт возможность оптимизировать тракт передачи с целью достижения требуемого уровня BER.

Точность расчёта напрямую зависит от точности используемой модели. Для проведения оценки необходимо учесть основные параметры джиттера сигналов (СКО нормального распределения и математическое ожидание), а также характеристики блоков, входящих в тракт передачи.

В известных автору работах приводятся алгоритмы экстракции параметров джиттера, измеренного в процессе измерений [3]. Автором предлагается методика оценки частоты появления битовых ошибок на этапе разработки с учётом зависимости BER от передаваемого кода.

Передаваемый код разделяется на повторяющиеся послылки, содержащие последовательности повторяющихся бит. Производится программная экстракция параметров случайного и детерминированного джиттера для каждого участка. Далее рассчитывается ве-

совой коэффициент K_j каждой области в передаваемой последовательности:

$$K_j = \frac{D}{N} * M_j, \quad (1)$$

где D – длина участка в битах, N – общее число участков, M_j – число повторов j -го участка в посылке из переданных битов. При этом функция плотности вероятности для каждого из случаев будет иметь вид:

$$P_j(t) = \frac{1}{\sigma_j \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-m_j)^2}{2\sigma_j^2}\right), \quad (2)$$

где m_j и σ_j – математическое ожидание и СКО для каждого из вариантов распределения. Интегрирование (2) позволяет получить BER для каждого участка:

$$BER_j^0 = 1 - \int_{t_{s,minj}}^{T-t_{h,minj}} P_j(t) dt, \quad (4)$$

где $t_{s,minj}$ и $t_{h,minj}$ – минимальные времена предустановки и удержания триггера приёмника, T – величина битового интервала.

На каждый обрабатываемый интервал приходится один перепад сигнала. Следовательно, из Y_j битов в посылке один потенциально может быть принят с ошибкой. Результирующий BER будет равен:

$$BER = \sum_{j=1}^n (BER_j^0 / Y_j), \quad (5)$$

где n – количество посылок в кодовой последовательности.

Предложена методика оценки BER на этапе проектирования, учитывающая влияние кодовой последовательности на джиттер сигнала. Алгоритм позволяет провести экспресс оценку вероятности появления битовых ошибок, что уменьшает время разработки.

Литература

1. S. Erb, W. Pribyl. Comparison of Jitter Decomposition Methods for BER Analysis of High-Speed Serial Links. IEEE 13th International Symposium. P.370-375 (2010).
2. Q. Dou, J. A. Abraham. Jitter Decomposition in High-speed Communication Systems. 13th European Test Symposium. P. 157-162 (2008).
3. M. Aleksić. Extraction of Jitter Parameters from BER Measurements. Electrical Performance of Electronic Packaging and Systems (EPEPS) 20th Conference. P. 63-66 (2011)

СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛА PtSn_4

Доможирова А.Н.¹, Чистяков В.В.², Наумов С.В.²,
Патраков Е.И.², Марченкова Е.Б.², Huang J.C.A.³,
Марченков В.В.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

² Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

³ National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan
+79617635688, a.n.domozhirova@mail.ru

Недавно были экспериментально открыты новые квантовые материалы – топологические вейлевские полуметаллы (ТВПМ), теоретически предсказанные еще в начале XX века. Для этих материалов характерен необычный перенос заряда на поверхности и в объеме. Квазичастицами в ТВПМ являются «безмассовые» вейлевские фермионы, киральные частицы с «нулевой» эффективной массой, которые защищены топологически. В объеме ТВПМ законы дисперсии этих частиц линейны во всех трех направлениях импульса и пересекаются в так называемых вейлевских точках. Тогда как поверхностные состояния образуют ферми-дуги, соединяющие вейлевские точки с противоположной киральностью [1, 2]. Необычная электронная структура ТВПМ приводит к появлению уникальных электронных транспортных свойств, что делает ТВПМ перспективными для применения в сверхбыстрой электронике. Таким образом, получение, исследование структуры и физических свойств таких материалов представляют большой научный и практический интерес.

Цель данной работы – синтез, аттестация структуры поверхности, исследование электрических и гальваномагнитных свойств монокристалла ТВМП PtSn_4 .

Монокристалл PtSn_4 был выращен методом кристаллизации из раствора в расплаве и имел отношение величин электросопротивлений $\rho_{293\text{K}}/\rho_{4.2\text{K}} \approx 100$. Химический состав и структура образца

были подтверждены методами рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Микроструктура поверхности изучалась методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ). Электрические и гальваномагнитные свойства измерены общепринятым 4-контактным способом на постоянном токе в интервале температур от 4.2 до 300 К и в магнитных полях до 100 кЭ.

В результате проведенных исследований установлено, что характерной структурной особенностью PtSn_4 является слоистое строение монокристалла, минимальная обнаруженная толщина слоя составляет 20 нм. Измеренная температурная зависимость электросопротивления PtSn_4 имеет металлический тип, т.е. электросопротивление увеличивается с ростом температуры. Магнитное поле приводит к росту величины удельного сопротивления почти в 3.5 раза. Исследования эффекта Холла показали, что в PtSn_4 коэффициент Холла положителен, т.е. преобладает дырочный тип проводимости. Оценены концентрация n носителей тока и их подвижность μ . При температуре 4.2 К концентрация n носителей тока составляет $\sim 6.7 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$, подвижность $\mu \approx 1.1 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Спин», № 01201463330) при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-52-52008), Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006) и гранта № 14.З50.31.0025 Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. S.Y. Xu, I. Belopolski, N. Alidoust, M. Neupane, G. Bian, C. Zhang, R. Sankar, G. Chang, Z. Yuan, C. Lee, S. Huang, H. Zheng et al. Discovery of a Weyl fermion semimetal and topological Fermi arcs. *Science*. Vol.349. P.613 (2015).
2. Z.K. Liu, L.X. Yang, Y. Sun, T. Zhang, H. Peng, H.F. Yang, C. Chen et al. Evolution of the Fermi surface of Weyl semimetals in the transition metal pnictide family. *Nature Materials*. Vol.15. P.27 (2016).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА И ВАНАДИЯ МЕТОДОМ ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА

Дошчатова Е. В.

*Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова, Яро-
славль*

Тел.: +79301218843, E-mail: doschatova.elena@gmail.com

Материалы на основе оксидов ванадия являются одними из перспективных пленочных покрытия для литий-ионных аккумуляторов.

Энергодисперсионный анализ - один из распространенных, быстрых и недорогих методов определения элементного состава. Основной недостаток – невысокая разрешающая способность.

Данная работа посвящается определению относительного содержания ванадия и кислорода, пики которых накладываются, что традиционно затрудняет возможность использования штатного программного обеспечения для определения количественного состава.

Цель работы - разработка методики энергодисперсионного определения относительного содержания кислорода и ванадия.

Объектом исследования данной работы являются энергодисперсионные спектры ванадия и кислорода.

В ходе работы было установлено, что количественный критерий относительного содержания кислорода и ванадия связан близкой к линейной зависимостью с относительной весовой долей ванадия. Были получены коэффициенты линейной регрессии $y=ax+b$ и определены доверительные интервалы. По этим коэффициентам для любого из представленных ускоряющих напряжений можно вычислить относительную долю содержания элементов в исследуемых образцах.

В результате исследования была создана методика определения относительного содержания кислорода и ванадия в образцах. Погрешность отношения содержания кислорода и ванадия составляет 5-10 % в относительном выражении. Предложенный подход может

быть применен также и для анализа содержания любых других пар элементов с плохо разрешенными пиками.

Степень внедрения — разработанная методика применяется в лаборатории ЦКП «Диагностика микро- и наноструктур».

Автор выражает благодарность своему научному руководителю – к.б.н. Пухову Денису Эдуардовичу.

Литература

1. Васильев, С.В. Тонкопленочный положительный электрод на основе оксидов ванадия для литий-ионных аккумуляторов / С.В. Васильев, В.Н. Геращенко, Т.Л. Кулова, М.Е. Лебедев, Л.А. Мазалецкий, А.В. Метлицкая, А.А. Мироненко, С.Б. Московский, Н.Ф. Никольская, Д.Э. Пухов, А.С. Рудый, А.М. Скундин, В.А. Сологуб, И.С. Федоров, А.Б. Чурилов // Микроэлектроника. М.: Наука, 2016. Т. 45, номер 5, 363-373с.
2. Рид, С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии: Книга / С.Дж.Б. Рид - М.: Техносфера, 2008, С. 232
3. Криштал, М. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / М. Криштал [и др.]. – М.: Техносфера, 2009, С. 203

ТЕХНОЛОГИЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ВЫНОСА ПЕСКА В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ ПРИ ПОМОЩИ СПЕКТРАЛЬНОГО ШУМОМЕРА

Ильин Н.А.^{1,2}, Владимирова Ф.С.², Байтемиров Э.Д.²

¹ КНИТУ-КАИ, Казань

² КНИТУ-КАИ, Казань

8-999-199-16-59, nikitaalexsandrovich@yandex.ru

В нашей стране нефть и газ составляют основу топливно-энергетического комплекса в целом. Поэтому проблемы разработки и эксплуатации нефтяных месторождений (РЭНМ) всегда были, есть и будут в ближайшие десятилетия актуальными. Одной из главных задач нефтяной промышленности является повышение эффективности РЭНМ за счет применения методов увеличения нефтеотдачи (МУН).

Идеи компании TGT Oil and Gas Services, международной и работающей в основном на Ближнем Востоке, непосредственно связаны с областями оптимизации месторождений и диагностики скважин.

Движение жидкости и газа по пласту, а также элементов конструкции скважины генерирует шум. Интенсивность шума повышается с увеличением линейной скорости потока жидкости/газа. Однако спектральный состав шума напрямую зависит от типа среды, в которой движется жидкость или газ, а не от типа или скорости потока [1].

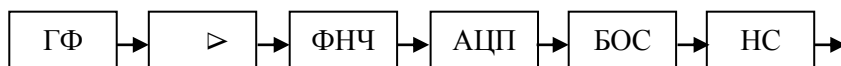


Рис.1. Структурная схема устройства детектирования выноса песка

Акустический шум регистрируется высокочувствительным устройством, который называется гидрофоном (ГФ). Он устанавливается в заполненной маслом камере. Полученные данные с гидрофона проходят через высококачественный мал шумящий усили-

тель (Δ) и преобразуются в цифровой код (АЦП). Цифровая обработка данных шумометрии включает в себя быстрое преобразование Фурье для оценки спектрального состава сигналов (БОС) на основе нейронной сети (НС).

Целью является аппаратная реализация алгоритма «Sand Detection» на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) с возможностью непрерывной работы в течение 48 часов и высокоскоростной передачи данных для осуществления чтения в режиме реального времени.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи: разработка алгоритма подсчета песчинок с использованием нейронных сетей; разработка схмотехники и печатной платы устройства; разработка программного обеспечения для управления аппаратной части устройства.

Анализ акустического шума, зарегистрированного в широком диапазоне частот, позволит определить зоны активной работы коллектора, места отсутствия герметичности обсадной колонны и насосно-компрессорных труб, работающие зоны перфорации, заколонные перетоки по цементному камню, а также потоки в породе и по трещинам. Разработка данного алгоритма с последующей реализацией электронных схем и платы прибора и исследованием его на специальном стенде позволит в дальнейшем эффективно использовать данное устройство для исследования добывающих и нагнетательных скважин как в статическом, так и в динамическом режимах [2].

Литература

1. McKinley R.M. Temperature, Radioactive Tracer, and Noise Logging for Well Integrity. Ada Oklahoma, Exxon Production Research, 1994, 160 pp.
2. McKinley, R. M., Bower, F.M., and Rumble, R.C. 1973. The structure and interpretation of noise from Flow behind Cement Casing. J Pet Technol 25 (03): 329-338., SPE-3999-PA.

РЕЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРЕДКОРРЕКЦИИ СИГНАЛА НА БАЗЕ FPGA ФИРМЫ ALTERA

Исмаилова А.Р., Тлявлин А.З., Исмаилова В.С.

*Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа
89177838921, alika-ismailova@rambler.ru*

Возможности по увеличению скорости, расстояния и качества передачи информации в кабельных линиях ограничены вследствие линейных искажений сигнала, возникающих в результате многолучевого распространения и частотной зависимости коэффициента передачи канала на ширине спектра сигнала. Эти явления приводят к межсимвольной интерференции сигнала (МСИ), исключить влияние которой и получить пропускную способность канала, приближающуюся к потенциальной, предлагается методом предварительной дробно-интервальной коррекции [1].

Предварительная коррекция подразумевает компенсацию искажений, возникающих при прохождении сигнала $f_0(t)$ по линии, путем изменения его характеристик и формы на передающей стороне таким образом, чтобы на входе приемника получить сигнал $f_i(t)$, максимально приближенный к неискаженному полезному сигналу $f_0(t)$ [1]. При этом никаких изменений в составе приемного оборудования не требуется. Для реализации данного метода, требуется определить передаточную функцию канала, вносящего искажения, и по информации о ней рассчитать коэффициенты для предкорректора [2]. Информацию о передаточной функции канала можно извлечь из данных о тестирующем сигнале $g_0(t)$ [3].

С целью исследования компенсации искажений сигнала собрана экспериментальная установка. В качестве основного устройства, выполняющего функции тестирования линии и предварительной коррекции сигнала, задействована отладочная плата Altera Stratix III DSP Development Kit, в состав которой входят основная плата, на которой расположена FPGA Altera Stratix III, и плата расширения Data Conversion HSMC, обеспечивающая два канала аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования.

Помимо аппаратной части комплекса для организации экспериментальной установки использовались: генератор импульсного сигнала, цифровой осциллограф и образцы кабелей. Общая схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

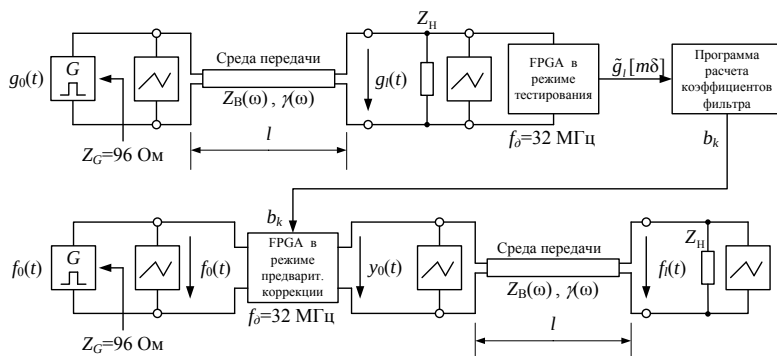


Рис.1. Схема экспериментальной установки

Применение FPGA Altera Stratix III в системе предварительной коррекции позволяет обрабатывать более широкую полосу частот, что способствует значительному улучшению результатов компенсации искажений сигнала.

Литература

1. О дробно-интервальной предварительной коррекции цифрового сигнала в каналах связи / Султанов А. Х., Тлявлин А. З., Багманов В. Х., Любопытов В. С., Адиев Т. И. // Вестник УГАТУ : науч. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. Т.17, №2 (55). С. 3-13
2. Fischer, R.F.H. Precoding and Signal Shaping for Digital Transmission. – John Wiley & Sons, New York, 2002.
3. Метод предварительной коррекции сигнала для компенсации линейных искажений в металлических кабельных линиях / Султанов А.Х., Тлявлин А.З., Любопытов В.С. // «Вестник УГАТУ», т. 15, 2011, № 1 (41), с. 182-187.

ДЕФОРМАЦИЯ ПОЛЫХ ВОЛОКОН В МЕМБРАННЫХ ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЯХ

Карасева М.Д.^{1,2}, Лагунцов Н.И.², Курчатова И.М.²

¹ ПАО «Аквасервис», Москва, Россия

² Национальный исследовательский ядерный университет

«МИФИ», ИНТЭЛ, Москва, Россия

+79164719136, e-mail: rita09karaseva@mail.ru

Мембранные технологии газоразделения получили широкое распространение в промышленности. Половолоконные газоразделительные мембранные модули могут применяться в различных установках [0,0]. Технические характеристики коммерчески доступных мембранных модулей не содержат информации о материале, проницаемости и площади мембран. Отсутствие значений этих параметров газоразделительного половолоконного мембранного модуля усложняет процесс разработки и создания газоразделительных гибридных установок.

Экспериментальные исследования для установления параметров мембранных модулей проводились с чистым газом (азот или кислород) в «тупиковом режиме» (поток ретентата перекрыт). Так как для мембранных модулей не известны значения проницаемости и площади, приведенная проницаемость исследуемого модуля определялась из формулы:

$$\pi_i^* = \pi_i * S = \frac{P}{(P_h - P_l)}, \quad (1)$$

где π_i – проницаемость i -ого компонента, S – площадь мембраны модуля, P – поток пермеата, P_h – высокое давление потока питания, P_l – низкое давление потока пермеата.

В работе проводились экспериментальные исследования при варьировании давления потока питания на мембранном модуле, в котором поток питания подается внутрь полого волокна. Получены зависимости приведенной проницаемости (1) от давления для кислорода и азота (рис. 1а, 1б). Все данные полученные из экспериментальных исследований аппроксимированы методом наименьших квадратов второго порядка. На рис. 1а и 1б наблюдается гистерезис – кривая 1 соответствует процессу постепенного увеличения

давления потока питания и лежит выше чем, кривая 2 (постепенное понижение давления потока питания). При давлении потока питания, равного 11 атм, наблюдается максимум приведенной проницаемости для кислорода.

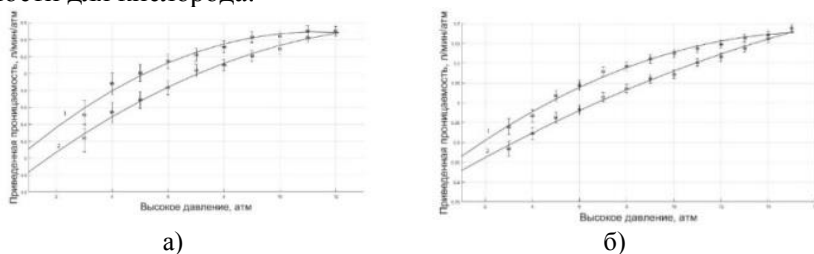


Рис.1. Зависимость приведенной проницаемости от давления потока питания, а) – кислород, б) – азот.

Причина нелинейной зависимости приведенной проницаемости от давления потока питания может быть связана с несколькими конкурирующими факторами. При увеличении давления увеличиваются внутренний и внешний радиус полого волокна и, как следствие, увеличивается площадь селективного слоя, а толщина уменьшается, это приводит к росту проницаемости. Изменение толщины пористой подложки (уплотнение подложки), площади и пористости по всей толщине подложки, приводит к уменьшению проницаемости. Наличие максимума приведенной проницаемости для кислорода (и его отсутствие для азота), обосновано тем, что проницаемость кислорода выше проницаемости азота. И при критичном значении давления потока питания эффект уплотнения пористой подложки и уменьшение пористости преобладает над факторами роста проницаемости при повышении давления потока питания. Работа профинансирована Министерством Образования и Науки, соглашение №14.576.21.0097. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI57617X0097.

Литература

1. Мухаметгалиев И. М. и др. Очистка газов от кислых компонентов //Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20. – №. 3.
2. Сидыганов Ю. Н., Шамшуров Д. Н., Костромин Д. В. Имитационная модель функционирования мембранно-абсорбционных газоразделительных систем, обеспечивающих улучшение потребительских свойств биогаза //Международный научный журнал. – 2015. – №. 1. – С. 78-91.

ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ МОДУЛЯЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОТОХРОМНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Карпач П.В., Василюк Г.Т.

Гродненский государственный университет им. Я.Купалы, 230023, Гродно, ул. Ожешко, 22, Беларусь

Тел: +375 29 7864984, e-mail: karpach_pv@grsu.by

В последние годы формируется новое нанотехнологическое направление – нанофотохромизм [1], связанное с разработкой фотохромных гибридных (композитных) систем, включающих молекулы фотохромных органических соединений, в частности, из класса диарилэтенов (ДАЭ), и наночастицы благородных металлов, а именно золота и серебра, а также неорганических полупроводников [2]. На основе таких нанокompозитных систем могут разрабатываться функциональные элементы (переключатели и элементы памяти) устройств молекулярной электроники и фотоники [3].

Цель настоящей работы заключалась в разработке и получении фотохромных композитных наноструктур на основе диарилэтенов и квантовых точек и исследовании их оптических характеристик. В работе использовались полупроводниковые квантовые точки (КТ) CdSe/ZnS, содержащие ядро CdSe и пассивирующую оболочку из более широкозонного материала ZnS (Рис.1).

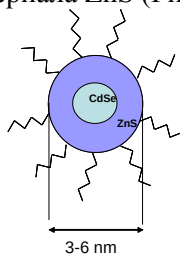


Рис. 1. Схематическое изображение КТ CdSe/ZnS, покрытой слоем органических молекул

Для изучения возможности флуоресцентного резонансного переноса энергии возбуждения от квантовых точек к циклической

форме диарилэтена за счет перекрыwania полосы поглощения фотохрома и полосы флуоресценции квантовых точек проведены спектральные абсорбционные и люминесцентные исследования свойств растворов и твердофазных пленок композитных систем, состоящих из люминисцирующих КТ CdSe/ZnS, с оболочкой из молекул функционализированного фотохромного соединения класса диарилэтен.

Обнаружено (Рис.2.) явление обратимого изменения интенсивности флуоресценции КТ, управляемое обратимой фотомодуляцией оптической плотности ДАЭ в видимой области спектра.

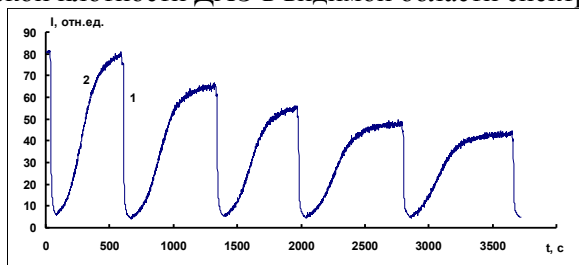


Рис. 2. Цикличность изменения величины интенсивности флуоресценции в максимуме полосы флуоресценции КТ (580 нм) при возбуждении флуоресценции светом с длиной волны 500 нм для твердотельной пленки на основе фотохромного диарилэтена и КТ, содержащихся в соотношении 2:1, при попеременном облучении УФ-светом через светофильтр УФС-1 (1) и видимым светом через светофильтр ЖС-16 (2).

Это свидетельствует о возможности реализации наноструктурированных регистрирующих сред с неdestructивным флуоресцентным считыванием оптической информации за счет флуоресцентно-резонансного переноса энергии возбуждения.

Литература

1. V.A.Barachevsky. Nanophotochromism. Org. Photon. Photovolt. Vol.3. Issue 1. P.8–41 (2015).
2. M.-S.Wang, G.Xu, Z.-J.Zhang, G.-C. Guo. Inorganic-organic hybrid photochromic materials. Chem. Commun. Vol.46. P. 361-376 (2010).
3. Molecular switches. Ed.B.L.Feringa. (Weinheim: Wiley-VCH. 2001).

ИСТОЧНИК ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ С РАСШИРЕННЫМ РАБОЧИМ ДИАПАЗОНОМ ТЕМПЕРАТУР

Кисель В.М.¹, Малявина А.Ю.²

¹*Научный руководитель: Бакеренков А.С. доцент, к.т.н., НИЯУ МИФИ*

^{1,2}*Университетский лицей № 1511 предвуниверситария НИЯУ МИФИ,
Москва*

Контакты

¹89851906081, vitalikis.kisel@gmail.com

²89637703195, bigal_no@bk.ru

Современные интегральные микросхемы делятся на несколько классов, каждый из которых характеризуется определенным рабочим диапазоном температур эксплуатации. Самый широкий температурный диапазон у приборов специального и военного назначения лежит в диапазоне от -60°C до $+125^{\circ}\text{C}$. В условиях космического пространства температура может достигать почти до абсолютного нуля [1]. В результате интегральные микросхемы перестают работать, а подогрев требует дополнительных затрат энергии и затруднителен в данных условиях. Интегральные микросхемы источников опорного напряжения широко используются в аналоговых узлах радиоэлектронной аппаратуры космического назначения. Задачей данного проекта является разработка источника опорного напряжения, способного работать в расширенном температурном диапазоне.

В качестве объекта исследований был выбран источник опорного напряжения LM4050. Была измерена зависимость его выходного напряжения от температуры в схеме включения, результатами. Для коррекции полученной температурной зависимости была измерена зависимость выходного тока при фиксированном выходном напряжении. Для того чтобы напряжение на выходе исходной схемы (рис.1) оставалось постоянным, необходимо подключить к выходу источник тока, представленной на рис.1 вместе с экспериментальными активизирующийся только при низких температурах. Это позволит компенсировать полученный скачок выходного тока и

удержит выходное напряжение на постоянном уровне. Итоговая схема источника опорного напряжения, полученная подключением компенсирующего источника тока к выходу исходной схемы (рис.1а), представлена на рис. 2 вместе с измеренной температурной зависимостью выходного напряжения.

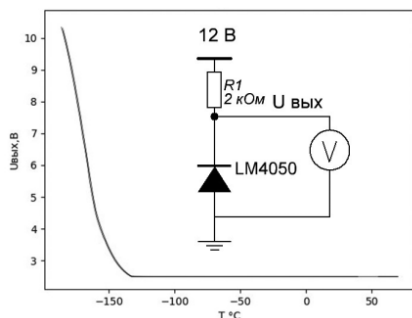


Рис.1. Схема опорного источника на основе микросхемы LM4050 и зависимость его выходного напряжения ($U_{\text{вых}}$) от температуры.

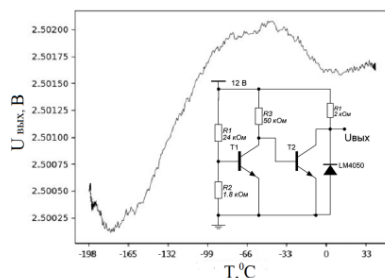


Рис.2. Схема источника опорного напряжения с расширенным диапазоном температур и температурная зависимость его выходного напряжения ($U_{\text{вых}}$).

Анализ результатов проведенных измерений позволил разработать прототип источника опорного напряжения на основе интегральной микросхемы LM4050, имеющий расширенный температурный диапазон эксплуатации, который может использоваться в составе радиоэлектронной аппаратуры аэрокосмического и научно-исследовательского назначения.

Литература:

1. «Модель космоса: научно-информационное издание: в 2 т.», под ред. М.И. Панасюка, Л.С. Новикова, Т.2 – «Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов» - М.: КДУ, 2007. – 1144 с., ISBN 978-5-98227-420-5 (Т.2)

БЛОК КОЛЬЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТАН- ДАРТНЫХ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Кобыляцкий А.В.¹, Герасимов Ю.М.¹, Григорьев Н.Г.¹, Сергеев
Д.К.¹, Швецов-Шиловский И.И.²**

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г.Москва*

² *АО «ЭНПО Специализированные электронные системы», г.Москва
конт. тел.:8(495)788-56-99 доб.8392, e-mail:avkobylyatskiy@mephi.ru*

Воздействие внешних радиационных факторов на элементы сверхбольших интегральных схем (СБИС) приводит к возникновению различных эффектов, приводящих к катастрофическим, функциональным и параметрическим отказам [1]. Параметры радиационной стойкости элементов определяются применяемыми на схемотехническом и конструктивно-топологическом уровне методами проектирования.

Проектирование СБИС типа «система-на-кристалле» (СнК) осуществляется при помощи стандартных цифровых элементов (СЦЭ), реализующих простейшие логические и запоминающие функции. Количество таких элементов в современных СнК достигает сотен миллионов, поэтому параметры радиационной стойкости СнК в некоторой степени определяются уровнем стойкости разрабатываемых библиотек СЦЭ [2].

Исследование параметров радиационной стойкости осуществляется на специализированных элементах и структурах на тестовых кристаллах. Как правило, для каждого типа ионизирующего излучения (ИИ) требуются отдельные элементы и структуры.

В докладе рассматривается кольцевой генератор (КГ) как элемент, позволяющий проанализировать влияние ИИ любого типа на параметры функционирования генератора. Для наглядности и информативности результатов целесообразно объединить несколько КГ с различным конструктивно-топологическим исполнением в блок (рис.1) с общей схемой управления, делением и мультиплексированием выходного сигнала. Адресная шина (А) осуществляет

выбор одного из генераторов. Сигнал EN переводит выбранный КГ в активный режим. Сигнал INV инвертирует состояние генераторов в статическом режиме для определения параметров стойкости к стационарному ИИ в наихудшем режиме.

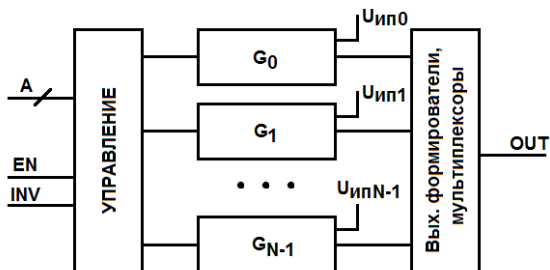


Рис.1. Блок кольцевых генераторов для исследования радиационной стойкости СЦЭ

Разработанный по объемной КМОП технологии уровня 90 нм блок КГ позволяет исследовать влияние стационарного и импульсного ИИ на функционирование КГ, определить порог тиристорного эффекта и уровень стойкости к тяжелым ионам, а также проанализировать влияние технологических разбросов, температуры, напряжения питания и параметров излучения на уровень стойкости элементов. Блок содержит 8 КГ, разработанных на основе радиационно-стойких библиотек СЦЭ с различным конструктивно-топологическим базисом.

В докладе представлены результаты исследования влияния стационарного и импульсного ИИ в диапазоне температур от -60 до 125 °С на статические и динамические параметры КГ.

Литература

1. Радиационная стойкость изделий ЭКБ: Научное издание / Под ред. А.И. Чумакова. (М: НИЯУ МИФИ. 2015).
2. Ю.М. Герасимов, А.В. Глушков, Н.Г. Григорьев, Я.Я. Петрич-кович, Т.В. Солохина. Особенности проектирования радиационно-стойких библиотек элементов, СФ-блоков и нано-СБИС СнК // Сб. трудов конференции МЭС-2008 / под общ.ред. А.Л. Стемпковско-го. М.: ИППМ РАН, 2008. С.272-275.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ ОКСИД КАДМИЯ- ЛИНЕЙНО-ЦЕПОЧЕЧНЫЙ УГЛЕРОД

Кокшина А.В.¹, Кочаков В.Д.¹

¹ *Чувашский государственный университет И.Н. Ульянова, Чебоксары
e-mail: annika21@mail.ru*

В области развития технологии синтеза различных соединений, в течение последних лет серьезное внимание уделяется антиподу монокристаллов – неупорядоченным системам - пленкам. В отличие от «общепринятых» кристаллических полупроводников, аморфные пленки не обладают дальним порядком в расположении атомов и трансляционной симметрией. [1].

Данное исследование было направлено на изучение свойств пленок оксида кадмия во взаимодействии с углеродом в состоянии sp-1 (линейно-цепочечный углерод, ЛЦУ).

Оксид кадмия (CdO) является полупроводником группы $A_{II}B_{VI}$, имеющим n-тип проводимости, ширину запрещенной зоны порядка 2,5 эВ и высокую концентрацию носителей заряда. Пленки CdO обладают прозрачностью в видимой области спектра (60-80%) и высокой электрической проводимостью [2]. Пленки линейно-цепочечного углерода представляют собой двумерную упорядоченную структуру, состоящую из цепочек углеродных атомов, объединенных sp-1-гибридизацией [3].

В ходе исследования пленочные системы были получены по следующей схеме: на подложку из кремния или стекла термическим испарением в вакууме наносилась пленка кадмия, затем эта пленка отжигалась в атмосфере воздуха в программируемой вакуумной печи при различных температурах и в течение различного времени. Для исследования влияния линейно-цепочечного углерода на полученную пленку CdO, поверх пленки оксида ионно-плазменным методом синтезировалась пленка ЛЦУ.

Для исследования структурных свойств полученных пленочных систем был применен метод спектроскопии комбинационного рассеяния света. Топология поверхности и толщина пленок была ис-

следована методом сканирующей зондовой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии.

Экспериментальные результаты по спектрам комбинационного рассеяния пленок CdO совпадают с результатами зарубежных коллег [4], что говорит о том, что полученная пленка действительно является окисью кадмия, так как на данных спектрах присутствуют пики, характерные для CdO. Также из полученных спектров можно сделать вывод о том, что в системе CdO-ЛЦУ происходит Рамановский сдвиг волнового числа в сторону увеличения по сравнению с чистым оксидом. Присутствие G- и D- полос на графике указывает на то, что было получено новое соединение, в котором присутствуют оксид кадмия и углерод.

Результаты, полученные в ходе исследования оптических свойств, показывают, что пленки обладают достаточно высокой прозрачностью в видимой области спектра, что говорит о перспективности применения их в качестве прозрачных проводящих покрытий.

Литература

1. В. И. Кондрашин, Н. О. Рыбакова, С. В. Ракша, А. А. Шамин, К. О. Николаев. Прозрачные проводящие покрытия на основе оксидов металлов. Технологии получения, свойства и области применения // Молодой ученый. - 2015. - №13. - С. 128-132
2. Kokshina A.V., Smirnov A.V., Razina A.G. Electro-optical properties of the metal oxide-carbon thin film system of CdO-LCC // Journal of physics: Conference series., 2016., vol. 741., p. 012047
3. Кокшина А.В., Кочаков В.Д. Исследование свойств тонкопленочных систем CdO И CdO-ЛЦУ // Альтернативная энергетика и экология., № 19 (183), с. 112-117
4. R. Oliva. High-pressure Raman scattering of CdO thin films grown by metal-organic vapor phase epitaxy // J. Appl. Phys. 2013, №113, P. 053514

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА С КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИМ НАНОПОЛНИТЕЛЕМ

Коноваленко С.П.¹, Бедная Т.А.²

¹ *Таганрогский институт им. А.П. Чехова (филиал) ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)», Таганрог*

² *Политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «ДГТУ», Таганрог
+7 (929)82-00-769, e-mail: svetlana_s12@mail.ru*

В настоящее время особый интерес проявляется к нанокompозитным органическим полупроводниковым материалам. Он вызван, прежде всего, возможностью их использования в устройствах полимерной электроники [1]. В качестве углеродной матрицы как основы материала может быть использован полиакрилонитрил. Для модифицирования химических свойств полиакрилонитрила и получения его нанообразований используется механизм самоорганизации структуры при взаимодействии полимера с ИК-излучением. В результате получается так называемый пиролизированный полиакрилонитрил (ППАН). Пиролизированный полиакрилонитрил обладает наиболее стабильными среди органических полупроводников электрофизическими свойствами.

Исследовались тонкие пленки, полученные на основе ППАН, легированного кобальтом [2]. Пиролиз проводили в ИК-камере в вакууме при разных температурах подложки и одинаковых значениях давления (7-14 Па). ИК-отжиг проводили условно в два этапа при различных температурно-временных режимах [3].

Структура полученных пленок исследована с помощью атомно-силового микроскопа Solver P47 Pro (NT-MDT). Проводимость материала измеряли при комнатной температуре на калибровочном стенде. Для определения толщины пленок исследовали их методом интерференционной микроскопии в белом свете на интерферометре МИИ-4.

Электропроводящие свойства нанокompозитов на основе легированного ПАН определяются механизмами проводимости угле-

родной матрицы и носит активационный характер. Энергия активации проводимости зависит от температуры получения материалов, концентрации кобальта. Большинство пленок ППАН/Со характеризуется уменьшением значения энергии активации проводимости с увеличением температуры и времени второго этапа отжига. Анализируя характер зависимости энергии активации от концентрации легирующей добавки Со в нанокompозите ППАН, наблюдаются экстремумы на концентрационных зависимостях, что свидетельствует о прыжковом типе механизме проводимости.

Толщина синтезированных плёнок определяется параметрами технологического процесса: концентрацией модифицирующего компонента и температурно-временными режимами этапов ИК-отжига. С увеличением концентрации кобальта происходит закономерное увеличение толщины пленок, что объясняется расширением полимерной структуры образцов за счет внедрения в нее соединений металлов.

Полученные композитные пленочные материалы проявляют полупроводниковые свойства, что подтверждается их температурными зависимостями.

Литература

1. Т. А. Bednaya, S. P. Konovalenko. Nanocomposite films of cobalt-containing polyacrylonitrile as a basis of gas-sensitive material for resistive type sensors. J. Phys.: Conf. Ser. Vol. 857. P. 012002 (2017).
2. С.П. Коноваленко, Т.А. Бедная Влияние условий синтеза на физические свойства тонких пленок состава кобальтсодержащего полиакрилонитрила. Прикладная физика. № 2. С. 50 – 53. (2017).
3. С.П. Коноваленко, Т.А.Бедная, Т.В.Семенистая, В.В.Петров, Е.В. Мараева Разработка технологии получения неподогреваемых сенсоров газа на основе полиакрилонитрила для гибридных сенсорных систем // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». №4 (ч. 2). (2012). (<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1356>).

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Крюков И.С.^{1,2}, Мухамедов К.А.², Козырь Д.В.²

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г.
Москва*

² *АО «Научно-исследовательский институт технической физики и авто-
матизации», г. Москва
+7(925)229-0959, Iwan.Kryukow@yandex.ru*

Большинство атомных электростанций (АЭС) в России оборудованы реакторными установками типа ВВЭР [1]. В реакторах данного типа одним из важнейших параметров контроля является концентрация бора-10 в теплоносителе первого контура. Вследствие высокого сечения поглощения тепловых нейтронов, изменение концентрации борной кислоты приводит к изменению реактивности в реакторах ВВЭР. Таким образом, борная система регулирования предназначена для компенсации медленных изменений реактивности и поддержания реактора в критическом состоянии [2].

В настоящее время на всех АЭС с реакторными установками типа ВВЭР для реализации борного регулирования используются нейтронные анализаторы раствора (НАР), в состав которых входит устройство накопления и обработки информации (УНО). В связи с быстрым развитием микроэлектронных компонентов и соответствующим обновлением на рынке элементной базы микропроцессорной техники возникает острая необходимость в разработке нового устройства с оптимизацией схмотехнических решений и применением новых программно-алгоритмических возможностей. Однако целью разработки является не только обновление схмотехники и программного обеспечения (ПО) с применением операционных систем реального времени (ОСРВ) [3], но и оптимизация процесса градуировки НАР и проведения испытаний.

Учитывая выше перечисленное, разрабатываемая версия УНО обладает высокой надежностью и заделом на модернизацию в будущем. Гибкость исполнения программной и схмотехнической

архитектур УНО позволяет использовать его не только в составе НАР, но и в рамках других измерительных комплексов, разрабатываемых в НИИТФА.

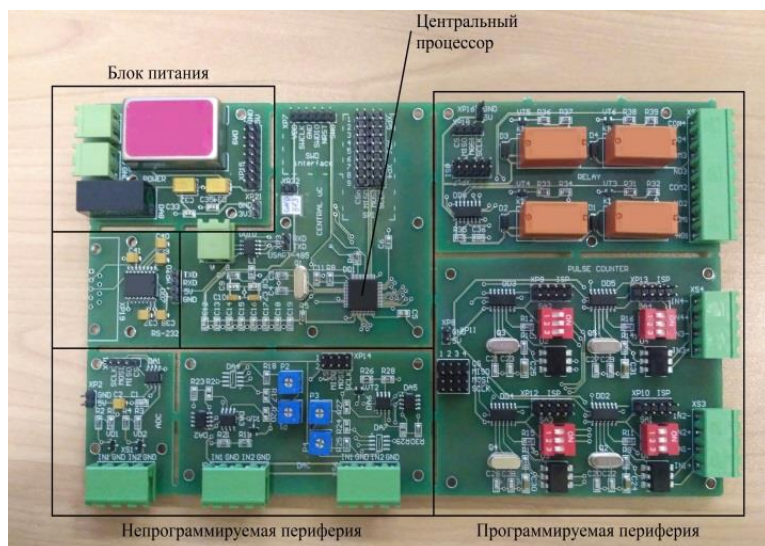


Рис.1. Тестируемая версия УНО

Литература

1. Официальный сайт ГК «Росатом». О Росатоме. Атомная отрасль России. URL: <http://www.rosatom.ru/about-nuclear-industry/atomnaya-otrasl-rossii/>
2. Сидоренко В.А. Вопросы безопасности работы реакторов ВВЭР. – М.: Атомиздат, (1977)
3. И.Б. Бурдонов, А.С. Косачев, В.Н. Пономаренко. Операционные системы реального времени стр. 1-98// Препринты Института системного программирования РАН, Препринт 14, (2006)

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО НИЗКОНАПОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ РАСХОДОВ

Максимова Е.А.¹, Фролова М.А.²

¹ НИТУ МИСИС, Москва

² БИТИ НИЯУ МИФИ, Балаково
+79850293439, kate6081@yandex.ru

Автоматизация производственных процессов является существенным условием повышения производительности труда и улучшения качества производства. Одними из важнейших параметров, которые подвергаются автоматизированному контролю, являются скорость и объём рабочих жидкостей, что приводит к необходимости повсеместного внедрения и совершенствования систем автоматического контроля, регулирования и управления потоками технологических жидкостей.

При внедрении в производство импульсного способа подачи возникает задача измерения объёма жидкости в единичном импульсе. Для мгновенного измерения расхода в основном используют преобразователи импульсного расхода, принцип действия которых основан на гидродинамических методах и преобразователи импульсного расхода с непрерывно движущимся телом. Одним из перспективных путей создания быстродействующих преобразователей расхода является использование в них различных физических явлений.

Принцип действия поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов основан на взаимодействии течения заряженной диэлектрической жидкости с электрическим полем, поэтому теоретической базой для исследования явлений, происходящих в преобразователе расхода, служат фундаментальные системы уравнений гидродинамики и электротехники. Плотность полного потока поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов определяется двумя составляющими: током проводимости, величина которого не зависит от скорости течения

жидкости и потоком поляризации, величина которого пропорциональна скорости движения жидкости в межэлектродном промежутке. Для увеличения различных составляющих уравнения полного тока могут быть использованы системы электродов различной формы. При использовании плоскопараллельных электродов, электродов типа «плоскость – наклонная плоскость» и «плоскость – седлообразный элемент» наибольший вклад в величину тока вносит компонента, направленная вдоль оси абсцисс, при использовании электродов типа «плоскость – полуцилиндр» компонента, направленная вдоль оси аппликат [1]. В результате проведенных экспериментальных исследований преобразователей расхода с различными системами электродов был сделан вывод, что максимальный коэффициент усиления имеет преобразователь расхода с электродами типа «плоскость – наклонная плоскость». Однако использование преобразователя расхода данной конструкции ведет к возникновению дополнительных гидравлических сопротивлений, к изменению профиля скорости. Наиболее целесообразным является использование поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов с плоскопараллельными электродами.

Проточная часть такого преобразователя расхода обладает минимальным гидравлическим сопротивлением. При этом форма электродов не создает дополнительного гидравлического сопротивления потоку, не способствует образованию униполярного заряда и в тоже время обеспечивает поляризацию жидкости во всём объеме преобразователя расхода.

Литература

1. Фролова М. А. Управление подачей технологических жидкостей в автоматизированном оборудовании на базе поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов: дис.канд.техн.наук. СГТУ, Саратов, 2000.

НОВЫЙ ИНФРАКРАСНЫЙ ЛЮМИНОФОР, АКТИВИРОВАННЫЙ ИОНАМИ ИТТЕРБИЯ, ТУЛИЯ И ГОЛЬМИЯ

Марьин А.П., Марьина У.А., Воробьев В.А.

*Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь
8-918-884-32-09, kosmostech@yandex.ru*

В последние годы все больше внимания уделяется исследованию перовскитоподобных структур, в частности станнатов щелочноземельных металлов, что объясняется большим разнообразием их физических свойств: сегнетоэлектричество, ферроэлектричество, сверхпроводимость, люминесценция. Наше внимание привлекли люминофоры на основе CaSnO_3 . Наибольшая часть публикаций посвящена исследованию люминесценции этих соединений в видимой области спектра. В связи с этим исследование ИК-люминесценции соединений на основе CaSnO_3 в области 1700–2100 нм является актуальной задачей [1].

Цель нашей работы – синтез и исследование ИК-люминофоров на основе CaSnO_3 , активированных ионами редкоземельных металлов Yb^{3+} , Tm^{3+} , Ho^{3+} . Выбор данных редкоземельных ионов обусловлен наличием у них характерных полос люминесценции в ИК-области электромагнитного спектра.

Синтез экспериментальных образцов осуществляли твердофазным методом, главными преимуществами которого являются экономичность, простота и доступность. В качестве исходных реактивов использовали особо чистые соединения: CaCO_3 , $\text{Sn}(\text{OH})_2$, Yb_2O_3 , растворы нитратов $\text{Tm}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ho}(\text{NO}_3)_3$. В качестве плавней в шихту также вводили $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3% от мас.), Li_2CO_3 (1% от мас.), Na_2CO_3 (1% от мас.). Концентрации ионов Yb^{3+} и Tm^{3+} не изменялись и составили 0,05 атомных долей и 0,003 атомных долей соответственно. Ионы Ho^{3+} вводились в следующих концентрациях: 0,001; 0,007; 0,01; 0,05; 0,1 атомных долей. Термообработка образцов проводилась в высокотемпературной печи «на воздухе» в течение 18 часов при температуре 1250 °С.

Рентгенофазовый анализ образцов подтвердил формирование перовскитоподобной структуры станната CaSnO_3 . Исследование

спектральных характеристик проводилось с использованием монохроматора МДР-204. При возбуждении лазером (960 нм) зафиксирована люминесценция в области 1700–2100 нм (рис. 1).

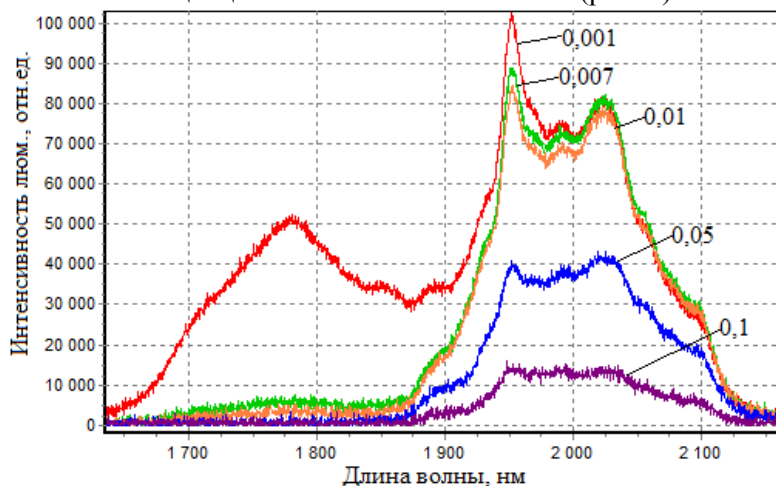


Рис. 1. Спектр люминесценции $(\text{Ca}_{0.946}\text{Yb}_{0.05}\text{Tm}_{0.003}\text{Ho}_{0.001})\text{SnO}_3$ при возбуждении лазером с длиной волны 960 нм.

Полоса люминесценции с максимумом 1780 нм соответствует переходам $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ в ионах Tm^{3+} . Люминесценция в полосе с максимумом около 1950 нм соответствует переходам $^5\text{I}_7 \rightarrow ^5\text{I}_8$ в ионах Ho^{3+} . Прослеживается зависимость интенсивности люминесценции в области 1700–2100 нм от концентрации Ho^{3+} . Дальнейшая работа в этом направлении представляет практический интерес, поскольку полученные ИК-люминофоры могут использоваться при создании ИК-меток, оптических преобразователей, лазеров.

Литература

1. У.А. Марьина. Разработка технологии синтеза и исследование люминофоров на основе CaSnO_3 , BaSnO_3 , SrSnO_3 , активированных редкоземельными ионами: автореф. дис канд. тех. наук: 05.27.06 / Марьина Ульяна Андреевна. Новочеркасск. 24 с. (2017).

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Масленникова И.С.¹, Серебрякова А.С.², Масленников С.П.¹

¹ НИЯУ МИФИ, Москва

² АО “НПП “Торий”, Москва

(495)788-56-99 доб.92-65, maslennira@yandex.ru

Генераторы высоковольтных импульсов применяются при решении широкого круга задач современной техники, промышленности, медицины, прикладной и фундаментальной науки. Широкие перспективы в области создания новых типов генераторов с улучшенными ресурсными, энергетическими и массогабаритными характеристиками открываются при использовании для их построения современных полупроводниковых элементов.

Переключение выходных каскадов в импульсных генераторах при напряжениях до нескольких десятков киловольт может осуществляться с помощью составных коммутаторов, построенных на основе последовательно и параллельно соединенных транзисторных модулей.

В данной работе представлены результаты исследований, направленных на разработку коммутаторов на основе МОП-транзисторов и создание на их основе генераторов высоковольтных импульсов микросекундной длительности..

Составные высоковольтные коммутаторы построены на основе цепочки последовательно соединенных транзисторных модулей, каждый из которых включает в себе собственную схему управления и силовой транзистор [1,2]. Коммутаторы обладают наносекундными временами переключения при рабочих напряжениях до 10 кВ и импульсных токах до 12 А

Одновременное переключение транзисторных модулей происходит под действием разнополярных наносекундных импульсов управления, которые одновременно передаются на модули через импульсные трансформаторы тока, что обеспечивает гальваническую развязку на полное рабочее напряжение между цепью управления и силовой частью коммутаторов. В транзисторных модулях

применялись схемы управления с униполярным и биполярным режимами работы [2].

Экспериментальные исследования показали, что составные коммутаторы с использованием транзисторных модулей обоих типов устойчиво переключаются в диапазоне длительностей импульсов от 1 мкс до 0.5 мс при рабочих напряжениях до 10 кВ и сопротивлениях нагрузок в диапазоне 1–15 кОм. Собственные времена переключения коммутаторов не превышают 50 нс. В то же время при использовании высокоомных нагрузок ($>10^4$ – 10^5 Ом) условия устойчивого запираания сохранялись для коммутаторов с биполярным режимом управления.

Разработанный генератор высоковольтных импульсов построен по одноконтурной схеме с частичным разрядом накопительной емкости, в выходном каскаде генератора использован коммутатор с биполярным режимом управления.

Испытания генератора были проведены с использованием эквивалентных резистивных и резистивно-емкостных нагрузок, которые моделировали условия работы генератора в составе импульсной радиоэлектронной аппаратуры, в частности, в системах управления мощными СВЧ приборами.

В результате испытаний генератора была продемонстрирована стабильность его работы в диапазоне длительностей импульсов от 1 мкс до 0.5 мс при амплитудных напряжениях до 10 кВ и сопротивлениях нагрузок в пределах 10^3 – 10^7 Ом.

Литература

1. Масленников С.П., Серебрякова А.С. Высоковольтные твердотельные коммутаторы на последовательно соединенных МОП-транзисторах. Вестник Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”, 2017, Т.6, №2, С. 161–166.
2. Масленников С.П., Серебрякова А.С. Высоковольтные твердотельные коммутаторы для сеточных модуляторов мощных СВЧ приборов. Радиотехника и электроника. 2018. Т. 63. № 1. С. 71-74

ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ, ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Мацуца Д.В

*Самарский Национальный Исследовательский Университет им.
Ак. С.П. Королева 89377966033, dariamatsutsa@gmail.com*

Пористый кремний является одним из самых перспективных материалов микро-, нано- и оптоэлектроники. Его свойства активно исследуются более чем в 40 странах мира.

Цель исследования: изучить методы исследования основных параметров пористого кремния

Задачи исследования:

1. Раскрыть содержание понятия «кремний», его свойства и применение

2. Исследовать методы измерения основных параметров пористого кремния: удельное сопротивление, подвижность, концентрацию и время жизни неравновесных носителей заряда.

Понятие "пористый кремний" включает в себя класс материалов со скелетной структурой, образующихся в результате самоорганизующегося процесса анодного травления монокристаллического кремния во фторидных электролитах.

Основные характеристики пористого материала определяются [1]

1. типом проводимости
2. уровнем легирования исходного кремния
3. составом электролита
4. величиной анодного смещения (плотностью анодного тока)

Методы его измерения бывают [2]:

1. Контактные методы
2. Бесконтактные методы

Контактным методом измерения удельного сопротивления кремния является метод зондов

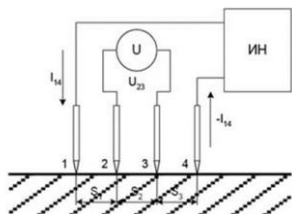


Рис.1 Схема измерения удельного сопротивления четырехзондовым методом

Бесконтактные методы:

1. Оптические
2. Радиоволновые

Литература:

1. Батавин В.В. «Измерение параметров п-п материалов и структур», 1985
2. Павлов Л.П. «Методы измерения параметров полупроводниковых материалов», 1987

ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛНОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ В SPICE-МОДЕЛИ КМОП ТРАНЗИСТОРОВ

Мустафаев А.Г.¹, Мустафаев Г.А.²

¹ ГАУО ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства», Махачкала

² ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет»,
Нальчик
arслан_mustafaev@mail.ru

Моделирование параметров КМОП-транзисторов работающих в условиях радиационного воздействия, представляет собой сложную проблему. Наряду с особенностями технологического процесса, необходимо учитывать изменение физических параметров, происходящее под действием радиации, и его влияние на выходные электрические характеристики.

Эффективность проектирования зависит от точности аналитических моделей транзисторов, применяемых в моделировании. Недостатки модели, основанной на пороговом напряжении, такие как разрывы в разных режимах работы транзистора, а также модели на основе инверсионного заряда – не возможность описать накопления заряда под затвором и в области перекрытия затвором истока и стока, затрудняют их применение [1].

Подход используемый в моделях на основе поверхностного потенциала позволяет найти единое выражение, описывающее как подпороговую область, область умеренной и сильной инверсии без применения сглаживающих функций.

В работе проведено моделирование воздействия полной дозы излучения на электрические параметры МДП-транзистора с использованием дополнений к модели на основе поверхностного потенциала.

Литература

1. В.В. Денисенко. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и нанoeлектронике. (М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010).

ТРЕХУРОВНЕВАЯ СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ УСТАНОВКИ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ

Мысовских И. А.¹, Григорьев Б. В.¹

¹ *ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»
8 912 394 85 06, im9123948506@gmail.com*

Автоматизация как отрасль современной промышленности получила широкое распространение в последние десятилетия. Тенденция сокращения участия человека в измерении, контроле и управлении технологическими процессами ускоряется благодаря созданию многоуровневых автоматизированных систем со сложной архитектурой, включающих уровень ввода/вывода данных, уровень управления и операторский уровень.

Для изучения различных технологических процессов в лабораторных условиях применяют стенды, функционально отражающие суть явления или изучаемого процесса.

Так, например, в целях изучения движения одно- и двухфазных потоков в системе трубопроводов в ФГАОУ ВО ТюмГУ (г. Тюмень), коллективом сотрудников был разработан функциональный научно-исследовательский стенд.

Цель работы автора заключалась в автоматизации созданного стенда многофазных потоков в соответствии с трехуровневой архитектурой АСУТП [1].

Задачи включали в себя разработку проекта автоматизации, реализацию аппаратной и программной составляющей и испытания системы. Система автоматизации должна быть функционально простой и включать минимум линий связи и элементов.

В ходе решения поставленных задач был разработан проект автоматизации, включающий три уровня (Рис.1).

Первый уровень: дифференциальный манометр, платиновые термометры сопротивления и расходомеры с интерфейсом токовая петля. Расходомеры представляют собой последовательное соединение генераторов сухого контакта (счетчик с импульсным выходом) и тахометров. Токовые сигналы со всех датчиков поступают

на второй уровень – микроконтроллер Термодат, преобразующий аналоговые сигналы в цифровые. В цифровом виде сигналы поступают на преобразователь интерфейсов USB-RS485 [2]. Цифровой сигнал принимается и обрабатывается на третьем уровне (ПК оператора) посредством разработанного программного обеспечения, которое отображает показания датчиков в реальном времени, графически их визуализирует и ведет архивирование данных [3].

Система автоматизации была смонтирована в едином корпусе с выводом всех показаний на переднюю панель микроконтроллера и АРМ оператора.

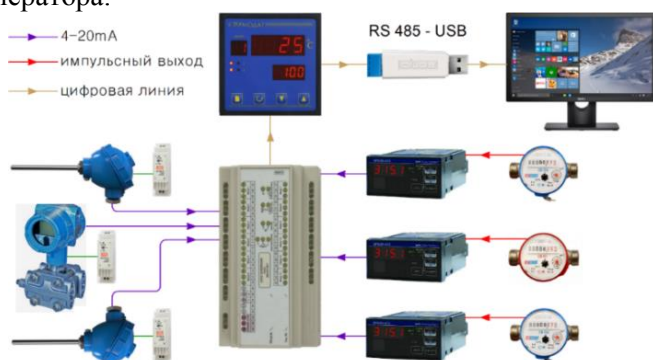


Рис.1. Схема автоматизации

В результате выполнения работы была разработана надежная система автоматизированного контроля процессов движения одно- и двухфазных потоков и программный модуль, отображающий на рабочей станции оператора физические параметры работы стенда с функцией вывода и архивирования данных.

Литература

1. Иванов Ю.И. Интерфейсы средств автоматизации: Учебное пособие / Ю. И. Иванов, В. Я. Югай – Таганрог: ТРТУ, 2005. – 252с.
2. Федоров Ю. Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка / Вологда: Инфра-Инженерия, 2008. – 928с.
3. Бобровский С.И. Delphi 7. Учебный курс / С.И. Бобровский. – Санкт-Петербург: Питер, 2008. – 736 с.

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РОСТА ТОНКИХ ПЛЕНОК В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ

Нагаев Д.А., Черепанов К.В., Нигматулин И.Р., Гришанов В.Н.

Самарский национальный исследовательский университет имени

С.П.Королева, Самара

конт. тел.: 8 (967) 761 96 67, e-mail: d.nagayev@mail.ru

С ростом рынка нанотехнологий, возрастает потребность в приборах для определения толщины/массы конденсированных продуктов – тонких пленок.

В работе представлена конструкция простой системы, предназначенной для контроля толщины оптических покрытий в процессе вакуумного напыления. Устройство состоит из двух блоков:

1) Лазерного фотометрического блока контроля толщины прозрачных диэлектрических пленок, основное назначение которого – мониторинг напыления четвертьволновых интерференционных покрытий;

2) Кварцевого измерителя толщины прозрачных диэлектрических и непрозрачных металлических пленок, основное назначение – мониторинг напыления металлических зеркал с защитным диэлектрическим покрытием.

Фотометрический метод контроля [1-3] основан на измерении/фиксировании осцилляций интенсивности монохроматического излучения, проходящего через подложку-свидетель с растущей пленкой. При этом, показатели преломления подложки и пленки должны различаться. Осцилляции интенсивности проходящего света связаны с явлением интерференции в системе подложка-пленка. Экстремумы осцилляций интенсивности будут наблюдаться в тех случаях, когда оптическая толщина (nd) пленки будет кратна четверти длины волны ($\frac{\lambda}{4}$) зондирующего излучения.

$$nd = \frac{\lambda}{4} m, \text{ где } m = 1, 2, 3, \dots,$$

В представленном на рис. 1 устройстве мониторинг проводится по одной фиксированной длине волны, однако функциональность блока может быть расширена, путем использования широкополосного источника излучения (например, галогенной лампы) и набора узкополосных интерференционных фильтров в приемнике.

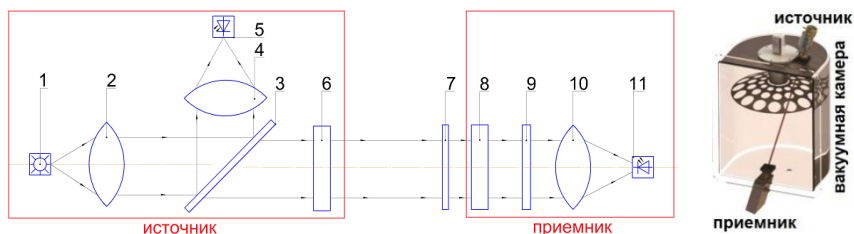


Рис. 1. Схема фотометрического блока

На рисунке показаны: *источник*, состоящий из лазера – 1, коллимирующей линзы – 2, светоделительной пластины – 3, фокусирующей линзы – 4, фотоприемника опорного канала – 5, выходного окна – 6; *образец-свидетель* – 7; *приемник*, состоящий из: входного окна – 8, ослабителя – 9 (опционально), фокусирующей линзы – 10, фотоприемника измерительного канала – 11.

Кварцевый метод измерения основан на эффекте снижения собственной частоты кварцевого резонатора с ростом массы кристалла при напылении на него тонкой пленки. Связь между изменениями резонансной частоты и массы кристалла устанавливает уравнение Саурбрея (Sauerbrey), представленное в [4, 5]. В процессе мониторинга осуществляется измерение частоты электрических колебаний кварцевого генератора, кварцевый резонатор которого выступает как «свидетель» при напылении. Получив массу пленки, зная её плотность и площадь на кристалле, можно определить физическую толщину напыляемого покрытия. В разработанном кварцевом блоке для увеличения чувствительности, точности измерений, применяется схема на «биениях», в которой измеряется разностная частота опорного и измерительного кварцевых генераторов.

В ходе проведенных работ, был изготовлен макет измерительной системы. Устройство было апробировано в лабораторных условиях на установке термического электронно-лучевого вакуумного напыления Leybold-Heraeus A700Q. Относительная погрешность измерения толщины пленки фотометрическим методом не

превышала 1% (при $\lambda_{\text{зонд}}=630\text{нм}$). Абсолютная погрешность измерения кварцевым датчиком составила 10 нм.

Литература:

1) А.В. Ершов, А.И. Машин. Многослойные оптические покрытия. Проектирование, материалы, особенности технологии получения методом электроннолучевого испарения. // Учебно-методические материалы, ННГУ, 2006.

2) M. D. Beltrán and oth. Double Laser for Depth Measurement of Thin Films of Ice. // Sensors (Basel); 2015 Oct; 15(10): 25123–25138; doi: 10.3390/s151025123;

3) Т.Н. Крылова. Интерференционные покрытия. Оптические свойства и методы исследования. // Л., изд. "Машиностроение", 1973, 244 с.

4) F. Ari and oth. Microcontroller Based Low-Coast Device for Quartz Crystal Microbalance. // Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series B V.57(1-2). pp 1-8 (2011); doi: 10.1501/Commub_0000000552;

5) В.А. Батурин и др. Измерение толщины тонких углеродных фольг методом кварцевого резонатора. // Вопросы атомной науки и техники. — 2002. — № 1. — С. 165-168.

СОЗДАНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МНОГОСЛОЙНОЙ СПИН-ТУННЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Пестова А.Н.,¹ Трушин О.С.²

¹ *Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, физический факультет, Ярославль*

² *Ярославский филиал физико-технологического института РАН, Ярославль*

Тел: +7 920 123 2287 E-mail: yablokova-anastasia@yandex.ru

Спинтроника – одно из перспективных направлений развития электроники, которое сформировалось после открытия гигантского магнитосопротивления (ГМС), туннельного магнитосопротивления (ТМС), явления перемагничивания спин-поляризованным током и пр. В отличие от традиционной электроники, оперирующей электрическими зарядами, в спинтронике для переноса информации используется спин электронов [1].

В данной работе рассмотрена попытка создания ячейки памяти MRAM, а так же ее анализ.

Ячейка памяти представляет собой многослойную магниторезистивную структуру сложного состава. Основа этой ячейки была изготовлена в Крокус Нанoeлектроника. На кремневую подложку напылили 12 слоев методом магнетронного распыления на установке Singulus Timaris. Эти слои можно объединить в четыре группы: магнитомягкий слой, туннельный диэлектрик, магнитожесткий слой, проводящая шина (все группы расположены в порядке приближения к подложке). Экспресс диагностика данной структуры путем измерения поверхностного сопротивления на установке CAPRES показала, что при изменении сопротивления за счет перемагничивания магнитомягкого слоя, эффект ТМС, может достигать 140% [2].

Далее, была предпринята попытка создания ячейки памяти MRAM. Для этого, путем использования стандартных технологических операций, таких как нанесение фоторезиста, фотолитография, ионное травление и т.д. были изготовлены нижний электрод (к проводящей шине), верхний электрод, сформированы контакты. В

итоге была получена ТПП структура (ток перпендикулярно поверхности) [2].

Однако измерение эффекта ТМС не дало ожидаемых результатов. В связи с этим был проведен контроль качества спинтуннельной структуры с использованием комбинации методов анализа.

Многослойная структура, предназначенная для формирования ТМС переходов была изучена при помощи следующих методов:

1. Времяпролетная вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС) – послойный элементный анализ.
2. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) – исследование поперечного среза.
3. Рентгеновская дифрактометрия – анализ кристаллической структуры слоев.

Сравнение данных, полученных разными методами, позволило оценить точность послойного анализа и качество структуры. В результате использования перечисленных методов были достигнуты следующие результаты: определена шероховатость поверхности и качество межслойных интерфейсов; оценены толщины слоев; выяснен послойный элементный состав; проверен порядок следования слоев; идентифицирована кристаллическая фаза наиболее толстого слоя. Таким образом, послойный анализ дает ценную информацию о химсоставе и толщинах слоев в многослойных структурах, что может быть востребовано для контроля качества в процессе изготовления MRAM [2].

Еще одной причиной расхождения теоретического и экспериментального значения ТМС – это смыкание магнитных проводящих слоев, в результате перераспыления материала в процессе ионного травления. Поэтому возникает необходимость отработки технологического процесса.

Литература

1. А.И. Морозов. Магнитоэлектроника. (М.: МИРЭА 2011).
2. О.С. Трушин, В.В. Наумов, А.А. Мироненко, Л.А. Мазалецкий. Проблемы экспериментальной реализации ячейки памяти MRAM. Интеграл. №4. С. 40-41 (2014).

ТЕРМОХРОМИЗМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Pb-Se

Разина А.Г.¹, Кочаков В.Д.¹

¹Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
г. Чебоксары
конт. тел. : 8(906)1305735, e-mail: aliska816@mail.ru

В ранее опубликованных работах было показано [1,2], что исследуемых пленках Pb-Se наблюдается аномальное изменение сопротивления вблизи температуры $T_n = 343$ К. При температуре выше T_n меняется тип проводимости, т.е. происходит фазовый переход полупроводник-металл. Установлено существование в пленках двух фаз PbSe и PbSeO₃ [3].

Известно, что при фазовом переходе резко изменяются оптические константы материала [4]. Например, изменение цвета в диоксиде ванадия, сопровождающийся фазовым переходом полупроводник-металл, объясняется явлением термохромизма. Термохромизм – это свойство вещества изменять свой цвет обратимо при нагревании или охлаждении [5].

Целью данной работы является исследование спектрального распределения коэффициента отражения пленок Pb-Se при температурах 300 К и 363 К.

При помощи спектрального эллипсометра в диапазоне длин волн 350-900 нм были получены спектры отражения пленок в полупроводниковой (300 К) и металлической фазах (363 К).

Обнаружено, что с ростом температуры коэффициент отражения увеличивается в ультрафиолетовой и видимой области спектра. В связи с чем при нагревании меняется цвет пленки в отраженном свете, с темно-серого на серо-голубой с металлическим блеском. Также было выявлено, что наблюдаемый переход в исследуемой системе обратим.

Таким образом, характер изменения оптических свойств в пленочной системе Pb-Se при варьировании температуры связан с фазовым переходом полупроводник-металл.

Литература

1. Краснова А.Г., Кокшина А.В., Белова А.В., Кочаков В.Д. Исследование взаимодействия PbSe с углеродом в состоянии sp^1 // Вестник Чувацкого университета. 2012. №3. С. 46-47.
2. Краснова А.Г. Синтез и исследование тонкопленочной бинарной системы PbSe / А.Г. Разина // Сборник материалов I Всеросс. науч. конф. «Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечных элементов 3-го поколения» Чебоксары: 2013. С. 76-77.
3. Разина А.Г. Исследование состава и электрических свойств бинарной тонкопленочной системы Pb-Se / А.Г. Разина, В.А. Казаков, В.Д. Кочаков // Материалы докладов XII Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – С.279.
4. Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф. А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение (Л: Наука. 1979).
5. Ярина Е.А. Свойства термохромных веществ / Е.А. Ярина, В.В. Меньшиков // Векторы развития науки: сборник статей студентов, молодых ученых и преподавателей – Уфа: АЭТЕРНА, 2015. – С.13-14.

УЛУЧШЕНИЕ ФОТОПОГЛАЩАЮЩИХ СВОЙСТВ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ БЛАГОДАРЯ НАНОСТРУКТУРАМ НА ОСНОВЕ ЛИГАНДОВ

Рахматуллин Б. А., Гайнуллина Н. Р.

КНИТУ – КАИ, Казань, 8(919)637-30-33, bulat995@mail.ru

Актуальность работы заключается в том, что при рассмотрении солнечных батарей как структур светопоглощающие свойства которых играют важнейшую роль, предложенные методы для улучшения поглощения света веществом путем улучшения транспорта заряда и уменьшения расстояния между атомами позволяют добиться значительных улучшений фотопоглощающих свойств солнечных батарей.

В качестве перспективных фотоактивных компонентов применяются полупроводниковые квантовые точки (КТ), уникальные электронные и оптические свойства которых открывают новые возможности физико-химических свойств солнечных батарей. В частности, благодаря квантовому размерному эффекту (для электронов формируется потенциальная яма, описываемая дном зон проводимости), изменяя размер КТ можно изменять ширину запрещенной зоны, что позволит оптимизировать поглощение солнечного излучения. Изменение размера также позволяет контролировать расположение энергетических уровней КТ по отношению к другим компонентам солнечных батарей и таким образом контролировать перенос заряда через границу раздела. Кроме того, КТ обладают высоким коэффициентом поглощения, высокой фотостабильностью, а также могут быть приготовлены в больших количествах. Для создания ФЭП могут быть использованы различные полупроводниковые наночастицы, например, CdSe, CdS, PbSe, PbS, Cu₂S, Cu(In, Ga)Se₂, Cu₂ZnSnS₄ где коллоидный раствор полупроводниковых наночастиц наносится на токопроводящую подложку, например, на оксид индия-олова (ITO) в виде тонкого равномерного слоя, в котором концентрация частиц близка к концентрации плотной упаковки. При этом большую роль в процессах транспорта заряда играет расстояние между наночастицами в слое.

Поэтому при создании различных фотовольтаических устройств важным шагом является замена исходных ПАВ на новые лиганды для уменьшения расстояния между КТ и, следовательно, улучшения транспорта заряда. Обычно для поверхностной модификации используются более короткие органические молекулы, которые содержат функциональные группы, имеющие сродство к поверхности КТ. На рис. 1 приведены структурные формулы наиболее часто используемых лигандов в солнечных батареях. Увеличение подвижности носителей заряда при уменьшении расстояния между частицами было подтверждено экспериментально для пленок КТ PbSe, покрытых алкандитиолами с различной длиной углеводородной цепочки. Также были измерены подвижности электронов и дырок в слоях КТ, обработанных различными лигандами, при этом подвижности электронов лежат в диапазоне от $1 \cdot 10^{-4}$ см²/В·с до 0.5–1.2 см²/В·с, дырок – от $1.5 \cdot 10^{-3}$ см²/В·с до 0.12–0.18 см²/В·с. Наибольшие значения подвижностей получены для слоев КТ, обработанных гидразином (H₂N—NH₂). Было также показано, что при обработке гидразином КТ PbSe, покрытых олеиновой кислотой, проводимость слоев увеличивалась на 10 порядков. Поверхностные лиганды могут приводить не только к уменьшению расстояния между частицами, т.е. к увеличению подвижности зарядов, но и к легированию слоев КТ, т.е. увеличению концентрации свободных носителей зарядов. Тип и степень легирования являются важными параметрами, влияющими на функционирование фотовольтаических устройств. Успешное легирование слоев КТ объясняется формированием ловушек на их поверхности. Нескомпенсированные поверхностные атомы – катионы или анионы, захватывая свободные носители заряда, действуют эквивалентно донорам, если они захватывают дырки, или акцепторам, если захватывают электроны.

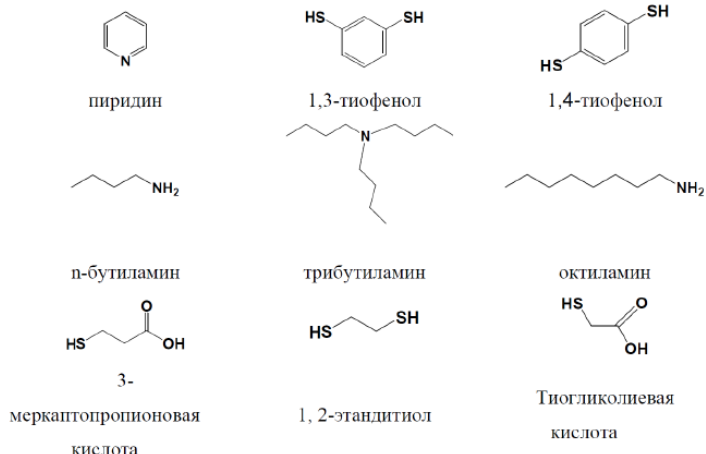


Рисунок 3. Лиганды, используемые для модификации поверхности КТ в солнечных батареях

Литература

1. P. Poole, J. Owens - Introduction to Nanotechnology (Wiley, 2003)
2. Борисенко В. Е. Нанoeлектроника: теория и практика (М: БИ-НОМ Лаборатория знаний, 2013)
3. И. П. Суздалев Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов (М: КомКнига, 2005)

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ МАГНЕТРОННО-РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НАНЕ- СЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Семенов С.В.¹, Золкин А.С.¹

¹ *Новосибирский государственный университет, Новосибирск
89232346472, s.semenov@g.nsu.ru*

Исследование свойств нанопокровтий является актуальной на сегодня задачей, например для оптических задач [1] Свойства наноматериалов, получаемых магнетронным распылением, определяются режимом синтеза и параметрами технологического процесса в условиях вакуумного нанесения покровтий.

В настоящее время используется несколько типов, или схем: источники питания постоянного напряжения (DC); среднечастотные импульсные источники питания (MF DC); источники питания импульсами высокой мощности (HiPIMS)[1]. Можно выделить несколько проблем при получении качественных нанопокровтий с помощью источников для МРС: транспорт микрокапельной фазы к подложке в случае активного дугообразования на поверхности мишени, высокая доля нейтральных частиц в потоке вещества, а также высокая тепловая мощность, выделяемая в процессе, приводящая к возникновению внутренних напряжений в покровтии.

Целью работы является выявление особенностей работы источников питания для магнетронно-распылительных систем, через исследование свойств покровтий полученных этими источниками методами КР-спектроскопии, оптической спектроскопии.

Литература

1. Bach H., Krause D. Thin Films on Glass. Springer Science & Business Media, 2003, P.436.
2. A. Wiatrowski, W. Kijaszek, W.M. Posadowski, W. Oleszkiewicz, J. Jadcak, P. Kunicki. Deposition of diamond-like carbon thin films by the HiPIMS method Diam. Relat. Mater. 72 (2017) 71–76

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА $\text{Ni}_{45}\text{Mn}_{44}\text{In}_{11}$ ДО И ПОСЛЕ ТЕРМОБАРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Семянникова А.А.^{1,2}, Емельянова С.М.², Вишняков А.А.²,
Дьячкова Т.В.³, Тютюнник А.П.³, Зайнулин Ю.Г.³,
Марченков В.В.^{1,2}

¹ *Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург*

² *Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург*

³ *Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург
8(950)647-17-56, alenasem14@mail.ru*

Синтез и изучение физических свойств материалов с большим магнитокалорическим эффектом (МКЭ) представляют большой научный и практический интерес, поскольку такие материалы могут быть использованы в качестве рабочего тела в магнитных рефрижераторах. Охладители такого типа могут применяться в различных устройствах электроники и наноэлектроники. Электрические и магнитные свойства сплава тесно связаны с состоянием его микроструктуры, изменить которое можно применением различных методов пластической деформации или термобарической обработки (ТБО) – обработки материалов в условиях высокой температуры (до 2000 К) и большого квазигидростатического давления (до 10 ГПа).

Объектом исследования в данной работе является сплав $\text{Ni}_{45}\text{Mn}_{44}\text{In}_{11}$, поскольку в сплавах этой системы наблюдается достаточно большой МКЭ [1]. Целью данной работы является исследование влияния ТБО на его физические свойства: электросопротивление, намагниченность, а также на магнитокалорический эффект.

Сплав $\text{Ni}_{45}\text{Mn}_{44}\text{In}_{11}$ был приготовлен в дуговой печи в атмосфере аргона. Полученные слитки отжигались при температуре 1100 К в течение 24 часов с последующим охлаждением в печи. Проведенный с помощью сканирующего электронного микроскопа с авто-

эмиссионным катодом элементный анализ, а также рентгеноструктурные исследования, выявили присутствие во всех образцах структуры L2₁. ТБО проводили на гидравлическом прессе ДО-137А со стандартной камерой высокого давления типа “тороид” при давлении $P = 9$ ГПа и температуре $T = 1373$ К. Измерения электросопротивления выполнялись стандартным четырехзондовым методом в интервале температур от 4.2 до 300 К. Намагниченность измерялась на СКВИД-магнетометре (MPMS XL7, Quantum Design) при температурах от 4.2 до 330 К в магнитных полях до 1 Т.

В результате проведенных исследований установлено, что применение ТБО существенно изменяет микроструктуру сплава, величину и вид температурных зависимостей электросопротивления, а также влияет на магнитокалорический эффект. Так значение электросопротивления возросло с $1.22 \cdot 10^{-3}$ Ом·см до $6.6 \cdot 10^{-3}$ Ом·см, а вид температурной зависимости изменился с «полупроводникового» на «металлический». Значение намагниченности насыщения при $T = 4.2$ К возросло с 41.6 ету/г до 60.6 ету/г, а коэрцитивная сила - с 250 Э до 600 Э.

Мерой МКЭ может служить изменение магнитной энтропии ΔS_M . Хотя величина ΔS_M до и после ТБО практически не изменилась $\Delta S_M \approx 3,5$ Дж/(кг·К), но произошло значительное смещение ее максимума по температуре с 200 К до 300 К. Таким образом, ТБО может быть эффективным инструментом управления МКЭ, в частности, для смещения его максимума по температурной шкале.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Спин», № 01201463330) при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-02-00739) и Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-10-2-37), а также гранта №14.Z50.31.0025 Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. A.K. Pathak, M. Khan et al. Applied Physics Letters Vol. **90**, No. 26 (2007)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ФМР-ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОРАЗМЕРНОГО ЛИТИЙ-КОБАЛЬТ-ЦИНКОВОГО ФЕРРИТА

Скуднев В.Ю.¹, Бузько В.Ю.¹, Вызулин С.А.²

¹ *Кубанский государственный университет, Краснодар*

² *Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М.*

Штеменко, Краснодар

8-961-532-81-50, skudnev_vs@mail.ru

Проблема понимания особенностей производства наноразмерных ферритов с желаемыми электромагнитными свойствами связана со многими факторами, одними из которых является влияние температуры и времени термообработки на их магнитные и радиопоглощающие свойства. В данной работе было изучено влияние термообработки на ФМР-характеристики наноразмерного литий-кобальт-цинкового феррита состава $\text{Li}_{0,35}\text{Co}_{0,35}\text{Zn}_{0,3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (LCZFO).

Для получения образцов наноразмерного LCZFO феррита был использован пирохимический нитрат-мочевинный метод синтеза. Синтезированные образцы феррита подвергались кратковременной термообработке в трубчатой печи в течение 1 ч при различных температурах: 650 °С (№1), 750 °С (№2), 850 °С (№3).

Исследование микроструктуры полученных образцов LCZFO методом электронной растровой микроскопии показало, что средний размер наночастиц LCZFO в полученных образцах возрастает от 55 нм для необработанного феррита до 95 нм для LCZFO, который подвергся термообработке при 850 °С. При этом степень пористости ферритовых нанопорошков заметно убывает с повышением температуры отжига.

Образцы синтезированных наноразмерных ферритов были исследованы методом ферромагнитного резонанса на ФМР/ЭПР спектрометре JEOL JES-FA300 в X-диапазоне. ФМР-характеристики (табл. 1), полученные из анализа ФМР-спектров, однозначно описывают магнитные и радиопоглощающие свойства исследуемых образцов.

Таблица 1. ФМР-характеристики образцов $\text{Li}_{0.35}\text{Co}_{0.35}\text{Zn}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$

Образец феррита	H_R , мТл	H_{sat} , мТл	ΔH , мТл	$I_{y\varnothing}$, отн. ед.
№1	242.71	550	373.49	1.00
№2	233.92	550	351.81	0.98
№3	232.94	550	369.48	1.09

Из данных, приведенных в таблице 1, видна значимая вариация величин резонансных частот ФМР (H_R), величин предельного поля насыщения (H_{sat}), ширин линий (ΔH) сигнала ФМР и величин удельного радиопоглощения ($I_{y\varnothing}$) для изученных образцов наноразмерного $\text{Li}_{0.35}\text{Co}_{0.35}\text{Zn}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$.

В результате проведенного исследования можно утверждать, что температура кратковременного отжига наноразмерного феррита оказывает сильное влияние на его магнитные и радиопоглощающие свойства.

ФОРМИРОВАНИЕ ЯДРА СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Смирнов С.В.¹, Рзаев Р.А.¹, Чуларис А.А.²

¹ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань.

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов- на- Дону.

Тел.: 89648865824, e-mail: ilw1999@mail.ru

При СТП после введения вращающегося пина инструмента в поверхностные слои свариваемых материалов в первые 10-15 секунд процесса возникает трение пина и торца заплечика в месте контакта этих частей инструмента с кромками свариваемых металлов. Появляется поверхностный равномерно распределенный тепловой поток в результате процесса «сухого» трения. На структурно-микромасштабном уровне поверхностные зерна вовлекаются в пластическую деформацию, которая реализуется за счет движения скольжением решеточных дислокаций вследствие наличия градиента деформации, создаваемого инструментом [1]. Однако, в крупнокристаллических металлах большинство дислокаций заблокированы атмосферами Коттрелла и Сузуки, вследствие чего их старт затруднен и для распространения пластической деформации требуются источники подвижных дислокаций, в качестве которых могут выступать большеугловые границы зерен и тройные стыки [2]. Благодаря заглублению вращающегося и перемещающегося вдоль кромок пина инструмента происходит формирование по толщине свариваемых пластин нескольких мезозон локализации пластической деформации и расширение мезозон на все поперечное сечение или толщину свариваемых деталей (рис.1).



Рис. 1. Поперечные макрошлифы сварных соединений: а- алюминиевого АД1; б- медного М1 сплавов.

В соответствии с концепцией [1-3] физической мезомеханики, согласно которой в твердом деформируемом теле образуется вихревое механическое поле [2], носителями деформации являются объемные мезоэффекты, движущиеся по схеме «сдвиг– поворот» крупных зерен за счет вовлечения в поворот более мелких с образованием вихрей и потоков металла в СПС (рис.2).



Рис. 2. Поперечный микрошлиф шва алюминиевого сплава АД1 при СТП: а) - ламинарный поток со стороны заплечика; б) - турбулентный поток со стороны нижней части пина, с ламелями разделенными на микрзерна; в) – центральная часть ЯСШ с классической рекристаллизованной структурой по механизму Бейли – Хирша и периферийной частью по механизму Кана – Бюргерса – Тейлора.

Металлографические исследования образцов, сваренных СТП, свидетельствуют о существенных изменениях в структуре: волокнистая (структура прокатки) свариваемых металлов и сплавов и сдвигополосчатая- “в виде луковичного узора” в ядре, (рис.1,2). Экспериментально установлено, что на стадии завершения формирования структуры ЯСШ получает развитие динамическая рекристаллизация по механизму дробления вытянутых зерен «луковичного узора» в ламелях полос сдвига с образованием субзерен в процессе деформирования вблизи температур перехода в СПС, следствием процесса является эффект достижения сверхпластичности.

Литература

1. Ищенко А.Я., Подельников С.В., Покляцкий А.Г. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (Обзор). Автоматическая сварка, 2007, №5, с. 25- 32.
2. Макаров С.В. Акустическая волновая корреляция элементарных деформационных актов при высокотемпературной деформации металлов и сплавов. Автореф. дис. на соиск.уч. степ. док. физ-мат. наук, Барнаул, 2016, 35 с.
3. Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C. 1991. Friction stir welding. International Patent Application № PCTPG 92H02203 and Great Britain Patent Application No 9125978.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРИВОД СТЕНДА ТЕСТИРОВАНИЯ МЭМС АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Смирнова М.А.

Ярославский Государственный Университет им. П.Г Демидова,

www.uniyar.ac.ru

Ярославский Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технологического института Российской академии наук, www.yf-ftian.ru

8-980-708-76-88, masha_19957@mail.ru

Акселерометры – это устройства для измерения ускорения – имеют широкий круг практических применений. Микроакселерометры присутствуют практически в любом современном смартфоне: датчики для определения положения в пространстве, автоматического поворота изображения дисплея и т.д. [1]. Для калибровки и определения характеристик акселерометров применяются специализированные стенды, обеспечивающие различные законы движения площадки с испытуемым устройством. В работе рассмотрена конструкция одного из таких тестировочных стендов, главной особенностью которого является наличие бесконтактной системы сверхточного позиционирования.

Целью работы является изготовление драйвера электродинамического привода для стенда тестирования МЭМС акселерометров, способного разгонять плунжер с ускорением до 2g. В качестве электродинамического привода был выбран трубчатый линейный бесщеточный электродвигатель с постоянными магнитами. Основными преимуществами двигателя являются его компактность, быстрота и точное позиционирование, способность выходить за пределы своего основания. [2].

Драйвер обеспечивает закон движения, необходимый для проведения испытаний микроакселерометров. Также в работе приведены обоснования выбора микросхемы L6205 в качестве ключевого элемента для драйвера. L6205 – это двухканальный драйвер на основе полного моста, специально разработанный для управления двигателями. Эта ИМС является однокристалльным экономически эффективным решением.. [3].



Рис. 1 . Драйвер электродинамического привода в сборе

В ходе работы был изготовлен драйвер электродинамического привода, изображенный на рис. 1, при нагрузке 2 Ом способен выдавать ток порядка 5 А. Такого тока достаточно, чтобы разогнать плунжер и контур с испытуемым акселерометром до ускорения $2g$ за 1 миллисекунду. Изготовленный драйвер может быть применен в стендах тестирования МЭМС акселерометров и в прецизионных приводах.

Литература

1. Майская, В. – 2012. – №5. – С. 35-36
2. Murphy, B.C. Design and construction of a precision tubular linear motor and controller : дис. / Bryan Craig Murphy ; Texas A&M University – College Station, 2003. .А. МЭМС Рынок. Стойкий продолжительный рост/ В.А. Майская // Электроника НТБ – 92 р.
3. Marano, Vincenzo. AN1762 Application Note [Электронный ресурс] / Vincenzo Marano. – СТ. : STMicroelectronics, 2003. – Режим доступа : www.st.com, свободный. – Загл. с экрана.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ СТОУНА-УЭЛЬСА В СЛОЯХ ГРАФЕНА

Согрина Е.Э.¹, Беленков Е.А.¹

¹ Челябинский государственный университет, Челябинск
+7(967)865-84-96, sogrina.e@yandex.ru

Слой гексагонального графена можно рассматривать как плоскую сетку из шестиугольников в вершинах которых располагаются углеродные атомы (Рис.1а.). Если в слое вместо шестиугольника встречается другой многоугольник, то это топологический дефект [1]. Электронные свойства графена можно изменять за счет топологических дефектов в его структуре. Наиболее известным комбинированным топологическим дефектом является дефект Стоуна-Уэльса (дефект 5-7-7-5) который состоит из двух пятиугольников и двух семиугольников (Рис.1б.)[2]. Этот дефект может образовываться в слое графена флуктуационно, за счет локальной перестройки межатомных связей.

В данной работе выполнены расчеты энергии образования дефекта Стоуна-Уэльса и энергии активации его движения по графеновому слою. Расчеты геометрически оптимизированной структуры и расчет энергетических характеристик выполняли фрагментов графенового слоя были выполнены хорошо апробированными методом молекулярной механики ММ+ и полуэмпирическим квантово-механическим методом РМ3 [3]. В результате расчета фрагментов графенового слоя различного размера, содержавших и не содержавших дефекты было установлено что с увеличением размера кластера энергия образования в нем дефекта стремится к предельному значению характеризующему численное значение энергии образования дефекта 5-7-7-5 в бесконечном слое. Численное значение этой величины оказалось равным 121.7 ккал/моль. Под действием внешних напряжений происходит скольжение дефекта Стоуна-Уэльса, приводящее к его пластической деформации. В процессе скольжения дефект 5-7-7-5 распадается на два парных топологических дефекта 5-7 и 5-7, расстояние между которыми в процессе скольжения увеличивается (Рис. 2.). При таком движении

дефектов по слою графена изменение энергии между парой последовательных состояний состояниями составляет 80.5 ккал/моль.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

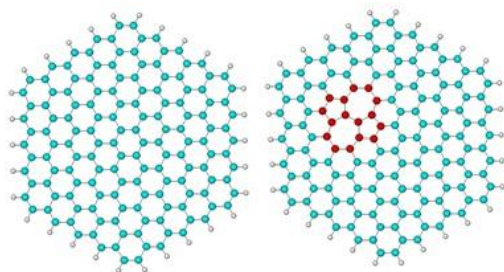


Рис.1. Фрагменты слоя гексагонального графена: (а) без топологических дефектов; (б) с топологическим дефектом Стоуна-Уэльса.

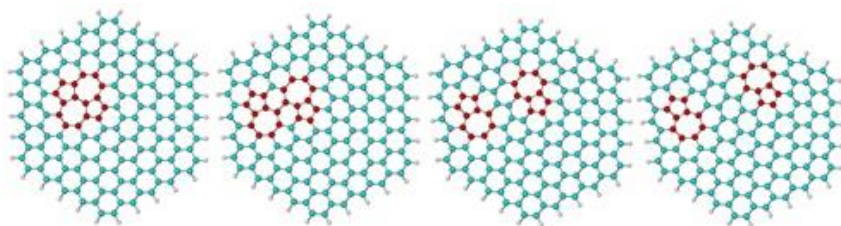


Рис.2. Движение дефекта 5-7-7-5 под действием внешних напряжений.

Литература

1. Е.А. Беленков, Ю.А. Зинатулина. Топологические дефекты графеновых слоёв. Челябинский физико-математический журнал. № 25. С. 32-38 (2008).
2. Е.А. Беленков, Ю.А. Зинатулина. Структура соединений однослойных углеродных нанотрубок на основе комбинированных топологических дефектов 5-7 и 4-8. Физика твердого тела. Т.52(4) С.812-818 (2010).
3. Э.И. Беленкова. Адсорбция атомов Li в нанокристаллическом углероде. В книге: Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники. Уфа: БашГУ, С. 224 (2016).

РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ФУЛЛЕРИТА C_{20}

Тиньгаев М. И.¹, Беленков Е.А.¹

¹ Челябинский государственный университет, Челябинск
+7 (351) 799-71-17, tingaevmi@yandex.ru

Элементная база микроэлектроники базируется на кремниевых кристаллах, однако вместо кремния, можно использовать углеродные кристаллы. Углеродные соединения из атомов в sp^3 состояниях имеют большую ширину запрещенной зоны, в то время как у материалов из sp^2 атомов запрещенная зона нулевая. Промежуточное значение ширины запрещенной зоны, подходящее для использования в электронных устройствах может быть у гибридных sp^2+sp^3 углеродных соединений [1-3]. В данной работе теоретически исследована sp^2+sp^3 фаза.

Первичная структура гибридной sp^2+sp^3 фазы была получена при полимеризации фуллеренового конденсата C_{20} . В исходном фуллерите атомы углерода находились в sp^2 состояниях, при сшивке соседних фуллеренов между каждой парой фуллеренов образовывалась одна ковалентная межатомная связь. В результате гибридизация атомов, участвующих в образовании связей, становилась sp^3 , однако у части атомов гибридизация осталась sp^2 . Так получалась гибридная sp^2+sp^3 структура [1,2], в которой соотношение атомов $sp^3:sp^2 = 3:7$. Далее, методом теории функционала плотности в градиентном приближении, были выполнены расчеты геометрически оптимизированной структуры. Было установлено, что кристаллическая решетка фазы относится к триклинной сингонии и в элементарной ячейке содержится 20 атомов. Длины векторов элементарных трансляций: $a = 5.999 \text{ \AA}$, $b = 5.839 \text{ \AA}$ и $c = 5.832 \text{ \AA}$. Углы между векторами: $\alpha = 118.2^\circ$, $\beta = 69.9^\circ$ и $\gamma = 110.0^\circ$. Плотность гибридной фазы $\sim 2.844 \text{ г/см}^3$ меньше плотности кубического алмаза, но выше плотности графита. Расчетные значения длин межатомных связей изменяются в диапазоне от $1.378 \text{ \AA}$ до $1.618 \text{ \AA}$.

Энергия сублимации гибридной структуры, получающейся в результате частичной полимеризации фуллеренов C_{20} , оказалась равной 6.92 эВ/атом. Это значение энергии лежит в диапазоне значений, характерных для углеродных материалов, устойчиво существующих при нормальных условиях, то есть эту фазу возможно экспериментально синтезировать.

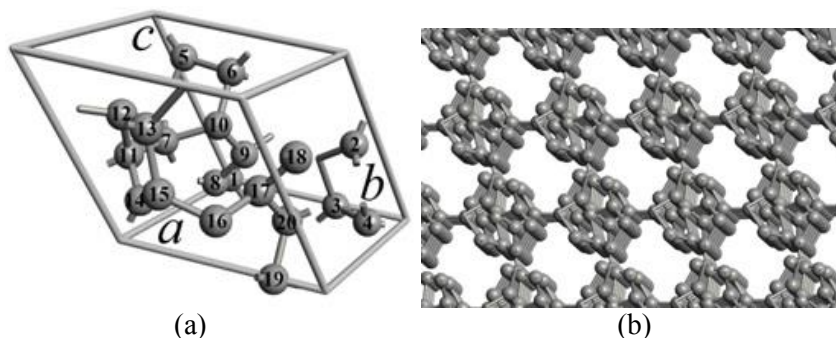


Рис.1. Геометрически оптимизированная структура sp^2+sp^3 углеродной фазы: (a) элементарная ячейка; (b) кристаллическая решетка.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

Литература

1. Е.А. Беленков, М.И. Тиньгаев Структура новых sp^2+sp^3 гибридных углеродных фаз, получаемых совмещением (n,n) однослойных углеродных нанотрубок. Письма о материалах. № 1(5). С. 15-19 (2015).
2. Е.А. Беленков, М.И. Тиньгаев Гибридные фазы из углеродных нанотрубок (8,0). Фундаментальные проблемы современного материаловедения. Т.14. С. 193-199 (2017).
3. Е.А. Беленков, М.И. Тиньгаев Структура и электронные свойства углеродной фазы, формирующейся при полимеризации жгута нанотрубок (6,0). Фундаментальные проблемы современного материаловедения. № 9. С. 481-487 (2017).

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ PSA СТУПЕНИ ГИБРИДНОГО МЕМБРАННО-СОРБЦИОННОГО КОНЦЕН- ТРАТОРА КИСЛОРОДА

Тишин А.А.^{1,2}, Гуркин В.Н.^{1,2}, Курчатov И.М.^{1,2}

¹ НИЯУ МИФИ, Москва

² ПАО «Аквасервис», Москва

Тел. 89167743449., e-mail: Alexzfrai@gmail.com

В последние годы в области газоразделения и в частности в разделении воздуха большое внимание стало уделяться гибридным технологиям газоразделения [1]. Чаще всего, говоря о гибридных технологиях для разделения воздуха имеют ввиду мембранно-сорбционные системы [2, 3]. Практический интерес представляет разработка портативных концентраторов кислорода, пригодных для питания аппаратов искусственной вентиляции легких, на основе гибридных мембранно-сорбционных газоразделительных систем.

Применение гибридных мембранно-сорбционных газоразделительных систем позволяет существенно снизить энергопотребление установок [4], а также нивелировать такие недостатки как загрязненность продуктового потока продуктами истирания сорбентов, за счет применения высокоселективной полимерной мембраны, и ограничение на концентрацию кислорода при использовании одной мембранной ступени, за счет использования ее после PSA ступени.

Одна из задач которую необходимо решить при построении гибридной системы – задача обеспечения стационарного потока продукта PSA ступени для обеспечения непрерывной подачи потока питания на мембранную ступень.

В настоящей работе предложен вариант организации работы PSA ступени гибридной системы, состоящей из трех адсорберов (рис 1(а)) и обеспечивающей постоянный продуктовый поток PSA ступени.

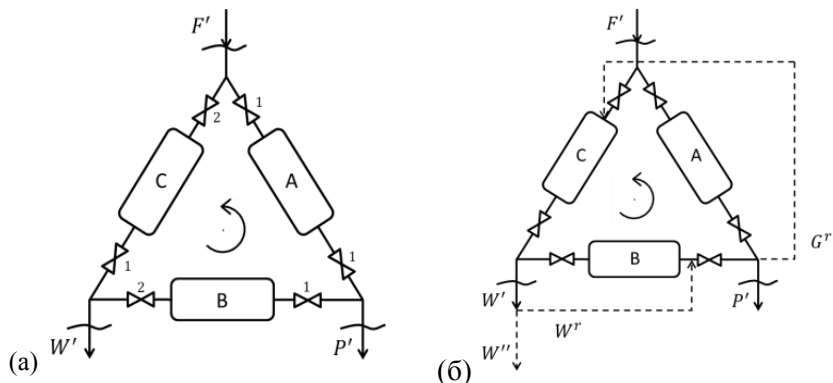


Рис.1. Схема работы трехадсорберной PSA системы без использования продувки и выравнивания (а) и с их использованием (б)

Каждый из адсорберов в такой системе проходит три основные стадии: заполнение, вытеснение (адсорбцию) и сброс (десорбцию). Причем заполнение происходит не с компрессора, а частью продуктового потока вытесняемого адсорбера. Кроме того введение дополнительных стадий противоточной продувки и уравнивания (рис. 1 (б)) в перспективе позволят повысить производительность процесса и чистоту получаемого продукта.

Литература

1. Дуников Д. О. и др. Перспективные технологии использования биоводорода в энергоустановках на базе топливных элементов (обзор) //Теплоэнергетика. – 2013. – №. 3. – С. 48-48.
2. Tishin A.A., Gurkin V.N., Laguntsov N.I., Kurchatov I.M. Study of Separation Characteristics of a Hybrid Membrane–Sorption System // Petroleum Chemistry, 2018, Vol. 58, No. 2, pp. 55–60.
3. Амосова О. Л., Малых О. В., Тепляков В. В. Мембранно-адсорбционные методы выделения водорода из многокомпонентных газовых смесей биотехнологии и нефтехимии //Серия. Критические технологии. – 2008. – С. 26.
4. Лагунцов Н.И., Курчатov И.М., Королев М.В. Эффективность рециркуляционных мембранно-сорбционных систем получения воздуха, обогащенного кислородом // Мембраны и мембранные технологии. 2015. Т. 5. № 3. С. 217–217.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Хлопотова Е. А.¹, Григорьев Б. В.¹

¹ ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»
8 912 920 69 00 ekaterina.hlopotova@gmail.com

Основными показателями работы трубопроводного транспорта является объем перекачиваемой нефти и нефтепродуктов. Задача транспорта жидких углеводородов требует точного учета перекачиваемой продукции и высокого уровня автоматизации процесса измерения. В связи с этим активно развивается машиностроительная отрасль, посвящённая одно – и многофазной расходомерии [1].

Цель - разработка автоматизированной системы измерения массового расхода жидких углеводородов.

В работе предложено использование интерференционного оптического метода для регистрации микроколебаний участка измерительной трубки ($A \sim 10^{-6}$ м), данные о которых дают информацию о минимальных изменениях расхода вещества.

Для регистрации колебаний трубки в едином устройстве были объединены регистрирующие устройства, работающие по принципу интерферометра Майкельсона [2], модуль машинного зрения и высокопроизводительная вычислительная система в основу которой положен модуль машинного зрения NI Vision.

Система измерения расхода включает измерительную трубку, электромагнитный привод, два оптических датчика перемещения и преобразовательную систему. Устройство работает следующим образом:

Измерительная трубка (1), установлена в корпусе (2) между фланцевыми соединениями (3), совершает вынужденные синусоидальные колебания при помощи электромагнитного привода (4). Эти колебания регистрируются датчиками перемещения (5) (интерферометр Майкельсона играет роль датчиков), расположенными в двух точках на стенках корпуса внутри расходомера.

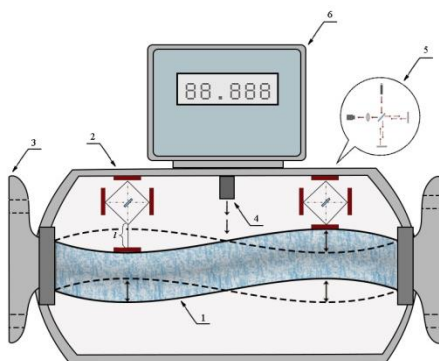


Рисунок 4 Схема измерительной системы

Данные датчики позволяют фиксировать разность фаз синусоидальных колебаний двух точек измерительной трубки (на входной и выходной сторонах) [3]. Синусоидальные колебания различаются по фазе $\Delta\varphi$ поскольку сигнал на выходной ветви запаздывает относительно сигнала на ветви на входе из-за действия силы Кориолиса в потоке жидкости.

Разница во времени между сигналами датчиков прямо пропорциональна расходу жидких углеводородов. Чем больше сдвиг фаз между сигналами, тем больше массовый расход. Таким образом, расход определяется путём измерения временной задержки между сигналами оптических датчиков.

Далее, с помощью модуля машинного зрения производится обработка видеосигнала оптических датчиков с последующей математической обработкой и расчетом величины расхода флюида.

Литература:

1. Катус Г. П. Массовые расходомеры / Г. П. Катус – М: Энергия, 1965. – 88 с.
2. Коломийцов Ю. В. Интерферометры. Основы инженерной теории, применение / Ю. П. Ефремов, Ю. В. Коломийцов – Л: Машиностроение, 1976. – 269 с.
3. Пат. 2358242С2 Российская Федерация, Кориолисовый расходомер и способ определения разности сигналов в кабельной линии и первом и втором датчиках / Смит Брайан Т., Маканалли Крег Б.; опубл. 14.06.2004.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО СНЯТИЯ ОСТАТОЧНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС ПОСЛЕ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НАКЛЕПА

Чулков Д.И., Минин С.И.

ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

Конт. тел.: 89108624049, e-mail: dichulkov@gmail.com

Для соединения между собой всех устройств и агрегатов ЯЭУ требуется большое количество трубопроводов. Общая протяженность всех трубопроводов АЭС составляет около сотни километров. Стоимость трубопроводов может достигать 10% от стоимости всей станции [1].

Трубопроводы на АЭС подвержены различным разрушающим факторам: высокое давление внутри трубопроводов, вибрации, ионизационное излучение, высокая температура и т.д. При разрушении особо ответственных трубопроводов безопасная эксплуатация атомной станции оказывается под угрозой. Для проведения дорогостоящих ремонтных работ необходима полная остановка ядерного реактора, что, в свою очередь, влечет к большим финансовым затратам.

Все выше перечисленные факторы свидетельствуют о том, что необходимо выполнять целый комплекс процедур, направленных на обеспечение увеличения надежности трубопроводов АЭС, а конкретно их сварных соединений, так как именно они, в виду особенностей технологического процесса, подвержены наибольшему разрушению из-за возникновения в них остаточных напряжения и остаточных деформаций при сварке. К тому же во время эксплуатации эксплуатационные напряжения будут складываться с остаточными напряжениями, что может привести к превышению предела прочности металла и вызвать образование трещин [2].

Цель работы: разработать автоматизированное устройство снятия остаточных напряжений в сварных соединениях трубопроводов АЭС после их выполнения методом ультразвукового наклепа.

Суть метода состоит в том, что благодаря ультразвуковым колебаниям на торце акустического ультразвукового волновода происходит изменение кристаллической структуры металла при его пластическом деформировании. В сварном соединении это позволяет снять остаточные напряжения за счет того, что дислокациям передается энергия, необходимая для того, чтобы они вернулись в исходное состояние после деформации [3].

Для повышения производительности, а также увеличения качества снятия остаточных напряжений методом ультразвукового наклепа необходимо разработать автоматизированное устройство. Оно должно состоять из следующих элементов:

- Магнитострикционного преобразователя, с помощью которого осуществляется ультразвуковой наклеп;
- Ультразвукового генератора, для питания магнитострикционного преобразователя;
- Автономной системы охлаждения, для охлаждения магнитострикционного преобразователя;
- Механизма перемещения и шагового двигателя, для перемещения подвижной части устройства вдоль сварного соединения;
- Программируемого логического контроллера, для управления устройством;
- Ультразвукового пьезопреобразователя с частотой пропускания 20 кГц, для осуществления контроля выполнения ультразвукового наклепа;
- Направляющей, для фиксации устройства на трубопроводе.

Литература

1. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции: Учебник для вузов. - Изд. 5-е. - М.: ИздАТ, 1994. - 289 с.;
2. Минин, С. И. Автоматизированная ультразвуковая система контроля напряженного состояния основного металла и сварных соединений циркуляционных трубопроводов ЯЭУ на основе эффекта акустоупругости Дис. ... канд. техн. наук : Обнинск, 2005;
3. Кудрявцев П.И. Остаточные сварочные напряжения и прочность соединений. М.: Машиностроение, 1964. — 95 с.: ил.

СИНТЕЗ ГРАФЕНА МЕТОДОМ CVD

Шинкарук В. Д.^{1,2}, Рыбин М. Г.², Образцова Е. Д.²

¹НИЯУ МИФИ, г. Москва.

²ИОФ РАН, г. Москва.

89055515764, v.shinckaruck@yandex.ru

Графен представляет собой двумерную углеродную структуру с атомами, расположенными в правильной шестиугольной решетке в одноатомной пленке[1]. Благодаря уникальным электронным и оптическим свойствам (например, он поглощает 2,3% [2,3] интенсивности падающего света в широком диапазоне длин волн, а его подвижность электронов составляет $2 \cdot 10^5 \text{ см}^2/(\text{В} \times \text{с})$ [2,3], графен имеет большой потенциал для различных применений. Существует несколько способов получения графена: механическое расщепление, графитизация SiC, химическое окисление графита, эпитаксиальный рост и химическое осаждение из газовой фазы (CVD) с использованием переходных металлов в качестве катализаторов. Многие исследовательские группы используют метод CVD для синтеза графеновых пленок. Механизм образования графена этим методом хорошо известен, но существует слишком много разных параметров процесса, влияющих на результат. Очень важно контролировать процесс синтеза, чтобы получить ожидаемые результаты.

Была поставлена задача получения чистой однородно-однослойной графеновой пленки на меди методом газозофазного осаждения. Для этого необходимо подобрать верное сочетание параметров синтеза, таких как температура, давление, концентрация газов, качество медной фольги, время синтеза и др. На данный момент были получены графеновые пленки с локальными утолщениями и инородными примесями (рис. 1-2). Необходимо скорректировать процесс синтеза таким образом, чтобы пленка была однородной...

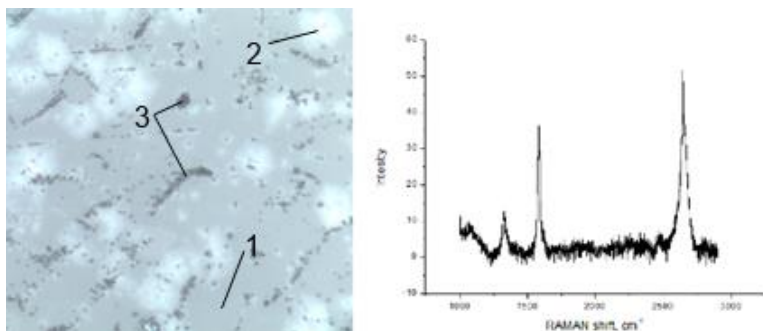


Рис. 1. Графеновая пленка на стеклянной подложке. 1 - монослой графена, 2 – многослойный графен, 3 – инородные примеси

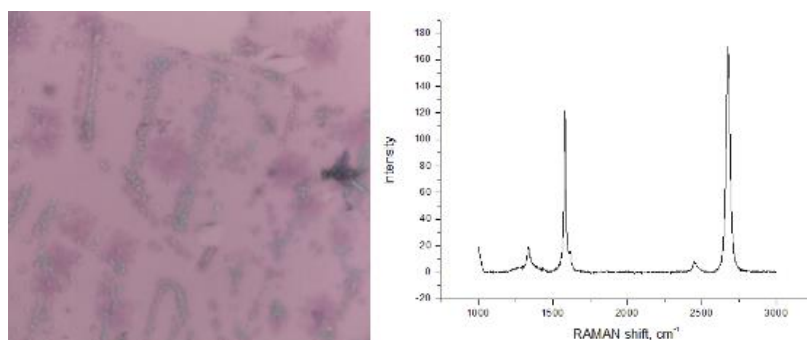


Рис. 2. Графеновая пленка на Si/SiO₂ подложке

Благодарности:

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60203 мол_а_дк.

Литература:

1. Графен: Материалы Флатландии. К. С. Новоселов. 2010.
2. Domain size, layer number and morphology control for graphene grown by chemical vapor deposition. Ruiwen Xue, Irfan H. Abidi and Zhengtang Luo, 2017.
3. A review of chemical vapour deposition of graphene on copper. Cecilia Mattevi, Hokwon Kima and Manish Chhowalla, 2010.

ЭЛЕКТРОМАССОПЕРЕНОС В БОРАТНО-БАРИЕВОМ СТЕКЛЕ С78-5

Шомахов З. В., Молоканов О. А., Кармоков А. М.

*Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик
+79280764305, shozamir@yandex.ru*

Боратно-бариевое стекло С78-5, имеющее состав (массовое содержание, %): 57,8 В₂О₃; 19,0 ВаО; 8,8 Аl₂О₃; 8,2 К₂О; 3,5 СаО; 2,2 SiO₂; 0,5 MgO, используется, в частности, в технологии стеклянных микроканальных пластин в качестве опорной жилы.

Исследования элементного и структурно-фазового анализа стекла показывают, что при температурах от 400 до 550 °С в стеклах образуются кристаллические фазы, размеры и скорости роста которых зависят от температуры и времени отжига образцов. Кроме этого, ранее было показано, что в объеме боратно-бариевых стекол при отжиге образцов в вакууме образуются наноразмерные кристаллические фазы [1]. На структуру и распределение элементов в объеме стекла существенное влияние оказывает пропускание электрического тока через образец [2].

Скорость нагрева составляла ~ 5 °С/мин. В первые ~ 15 минут от начала нагрева, когда температура еще низка, токи через образец малы. Доминирующим механизмом проводимости в это время является электронный. Дальнейший нагрев сопровождается увеличением электропроводности. Через 2-2,5 ч после начала нагрева достигается температура 450 °С, и электропроводность стекла при однонаправленном токе превышает электропроводность при знакопеременном токе на один порядок величины (рис. 1).

С повышением температуры, как и следовало ожидать, электропроводность возрастает, причем энергия активации электропроводности $E_{\text{акт}}$ принимает два разных значения: 0,0327 и 1,19 эВ в низкотемпературной и высокотемпературной областях, соответственно. Излом наблюдается при температуре ~280 °С.

В процессе измерения электропроводности при однонаправленном пропускании тока через образец прошел удельный электрический заряд ~ 0,005 Кл/см², который обусловил

массоперенос и стимулировал рост новых фаз, так как при температуре отжига в данном стекле имеет место преобладание ионного механизма электропроводности.

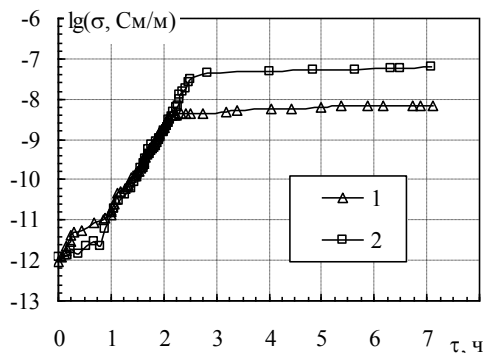


Рис. 1. Зависимость удельной электропроводности σ (См/м) боратно-бариевого стекла С78-5 от времени τ в процессе нагрева и изотермической выдержки при 450 °С в течение 5 часов: 1 — однополярный ток; 2 — знакопеременный симметричный ток

В отличие от знакопеременного электрического тока однопольное пропускание тока через образец оказывает существенное влияние на структуру, состав и электропроводность исследованных стекол. Очевидно, это связано с переносом ионов, участвующих в электропроводности, в одном направлении. Отжиг в течение 5 ч при температуре 450 °С приводит к равновесному состоянию и стабилизирует структуру стекла, что важно для стабильности работы приборов применения.

Литература

1. Шомахов З.В., Альмяшев В.И., Кармоков А.М., Тешев Р.Ш., Молоканов О.А., Шокаров Х.Б. Влияние температуры изотермического отжига на образование нанокристаллов в стекле С78-5 // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2011. Т. 1. № 4. С. 5-7.
2. Кармоков А.М., Молоканов О.А., Шомахов З.В. Влияние электрического тока на массоперенос в свинцово-силикатном стекле С78-4 // Стекло и керамика. 2017. № 2. С. 6-8.

Подписано в печать 17.04.2018. Формат 60×84 1/16.
Изд. № 003-3. Тираж 100 экз. Печ. л. 22,25. Заказ № 51.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Типография НИЯУ МИФИ
115409, Москва, Каширское ш., 31

