

П
А 72



Антоненко С.В. Брызгунов К.В. Гетманский А.А.

017-97

APL 3402
MFN 6844

**МЕТОДИКА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЛЕНОК Bi-Sr-Ca-Cu-O
РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ С ПОМОЩЬЮ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ
ПРИЕМНИКОВ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ**

Москва 1997

5.09.92

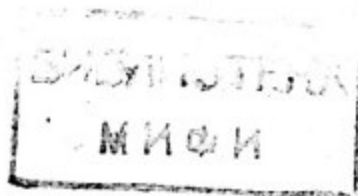
МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Антоненко С.В. Брызгунов К.В. Гетманский А.А.

МЕТОДИКА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЛЕНОК Bi-Sr-Ca-Cu-O
РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ С ПОМОЩЬЮ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ
ПРИЕМНИКОВ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ

Препринт 017-97



Москва 1997

A72
УДК 621.315.592::538.945
ББК 31.232.07

Всего: 1 экз

Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Гетманский А.А.
Методика приготовления пленок Bi-Sr-Ca-Cu-O различной толщины с помощью многофункциональной исследовательской и технологической установки для элементов приемников ИК-излучения. М.: Препринт/МИФИ, 017-97, 1997.-20 с.

Представлена методика и проведены эксперименты по напылению пленок Bi-Sr-Ca-Cu-O и исследована зависимость длительности времени отжига образцов от их толщины; проведены начальные эксперименты с целью исследования воспроизводимости характеристик пленок в процессе напыления.

© Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Гетманский А.А., 1997
© Московский государственный инженерно-физический институт
(технический университет), 1997

ISBN 5-7262-0138-8

Редактор Н.Н. Антонова
Ответственный за выпуск С.В. Антоненко

ЛР020676 от 09.12.92 г.

Подписано в печать 09.07.97 Формат 64x84 1/16
Печ.л. 1,25 Уч.-изд.л. 1,0 Изд.№ 017-97 Тираж 100 Заказ

Московский государственный инженерно-физический институт
(технический университет). Типография МИФИ
115409, Москва, Каширское шоссе, 31

Введение

Резкая зависимость сопротивления сверхпроводников от температуры в области сверхпроводящего перехода является тем основным их свойством, которое используется для создания чувствительных приемных элементов ИК (инфракрасного)-излучения. С открытием высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) появилась возможность создания приемных элементов, работающих при температурах выше точки кипения азота [1,2].

Приемные элементы ИК-излучения (болометры) на основе сверхпроводящих пленок подразделяются на изотермические и неизотермические.

Неизотермический режим реализуется в случае большого транспортного тока, близкого к критическому току, при фиксированной температуре термостата (обычно при азотных температурах для ВТСП-датчиков и при гелиевых температурах при использовании низкотемпературных сверхпроводников). При протекании через пленку такой ток создает тепловой домен, сопротивление которого меньше полного нормального сопротивления всей пленки. Домен занимает только часть пленки, а остальной участок находится в сверхпроводящем состоянии. В общем случае это состояние не является устойчивым, поэтому для стабилизации рабочей точки сверхпроводник обычно шунтируется дополнительным сопротивлением. При воздействии ИК-излучения происходит подогрев пленки, приводящий к увеличению теплового домена. Связанное с этим изменение сопротивления регистрируется электронными приборами.

При изотермическом режиме рабочая точка выбирается подбором температуры термостата. Транспортный (измерительный) ток имеет незначительную величину, так что джоулево тепловыделение мало. Падающее излучение вызывает общий нагрев сверхпроводника и изменяющееся сопротивление регистрируется измерительной аппаратурой. Для работы такого болометра требуется высокая стабильность поддержания температуры термостата.

В общем случае вольт-ваттная чувствительность, являющаяся основной характеристикой приемного элемента, выражается следующей формулой [3]:

$$S = \frac{\epsilon \alpha R_s I}{G[\omega^2 \tau^2 + (1-b)^2]^{1/2}} \quad (1)$$

где ϵ - коэффициент поглощения; R_s - сопротивление в рабочей точке; $\alpha = \gamma R_s^{-1}$ - температурный коэффициент сопротивления ($\gamma = dR/dT$ - крутизна перехода из нормального состояния в сверхпроводящее); G -

коэффициент теплопотерь; $b=I^2\gamma G^{-1}$ - коэффициент тепловой неустойчивости; I - ток смещения (измерительный ток); $\omega=2\pi f$ - циклическая частота следования детектируемых импульсов; $\tau=CG^{-1}$ - тепловая постоянная времени (C - теплоемкость приемного элемента). Таким образом, высокая вольт-ваттная чувствительность достигается увеличением dR/dT при достаточно слабой тепловой связи приемного элемента с термостатом. Для реализации предельного быстродействия требуются тонкие пленки с малой теплоемкостью.

Для достижения высокой чувствительности приемного элемента необходимо увеличение нормального сопротивления сверхпроводящей пленки R и крутизны сверхпроводящего перехода dR/dT . Это может быть достигнуто путем создания меандровой структуры. Помимо этого, например, авторы [4] полагают, что повышение чувствительности ВТСП болометров можно достигнуть следующим образом: во-первых, за счет снижения толщины пленки, что приводит, с одной стороны, к увеличению сопротивления пленки, а с другой, к уменьшению теплоемкости чувствительного элемента; во-вторых, за счет совершенствования материалов пленки и подложки.

По литературным данным для ВТСП болометров на настоящий момент в основном используются пленки $Y-Ba-Cu-O$. Для таких пленок были достигнуты значения сопротивления на квадрат поверхности в нормальном состоянии от 1 до 50 Ом [2,5]. Однако к недостаткам болометров на основе пленок $Y-Ba-Cu-O$ можно отнести необходимость термостабилизации чувствительного элемента вблизи температуры перехода 85-90 К с помощью нагревателей или искусственное ухудшение характеристик пленок. Кроме того, пленки $Y-Ba-Cu-O$ нестабильны и со временем теряют свои сверхпроводящие свойства (падает T_c , уширяется переход).

Использование пленок $Bi-Sr-Ca-Cu-O$ фазового состава 2212 с температурой сверхпроводящего перехода около 80 К для болометрических датчиков позволяет легче решить многие вышеназванные проблемы. Это упрощает конструкцию исследовательского криостата и делает его более надежным. Сами пленки $Bi-Sr-Ca-Cu-O$ стабильны и со временем сохраняют свои характеристики.

К недостаткам ВТСП пленок на основе висмута можно отнести многофазность самого соединения и достаточно узкий температурный диапазон протекания твердофазной реакции образования сверхпроводящих фаз, что требует больших усилий при изготовлении самих пленок. Пленки, полученные ранее [6], не удовлетворяли части необходимых требований: были многофазными, имели сопротивление на квадрат поверхности в нормальном состоянии менее 1 Ом, температуру начала перехода 110 К и конца перехода 75 К. Данная работа преследовала цель уменьшить толщину пленок, увеличить

сопротивление в нормальном состоянии и получить однофазные пленки с критической температурой вблизи точки кипения азота, а также исследовать возможности создания методики изготовления пленок со стабильными и легко воспроизводимыми характеристиками.

Методика эксперимента

Приготовление пленок ВТСП проводилось в двух высоковакуумных установках УРМ-3 (технологической) [6] и УВН-73П-1 - многоцелевой исследовательской и технологической установке [7]. Первоначально установка УВН-73П-1 обеспечивала по паспорту рабочий вакуум $7 \cdot 10^{-4}$ Па. Комитет стандартов Американского вакуумного общества определяет эту категорию высоковакуумных систем как "системы с разборными соединениями и уплотнениями, изготавливаемые обычно из материалов, обладающих не очень низкой скоростью обезгаживания, в которых не может быть достигнуто предельное разрежение $6,7 \cdot 10^{-3} - 6,7 \cdot 10^{-5}$ Па" [8,9].

Для улучшения рабочих характеристик, установка УВН-73П-1 была полностью модифицирована. Для снижения степени покрытия внутренней поверхности вакуумной камеры малыми остаточными газами использовался предварительный прогрев ее с помощью галогеновых ламп с последующим охлаждением до рабочего состояния. В камеру также были вмонтированы совмещенные геттерный и криогенный насосы (эту конструкцию еще называют титановым сорбционным насосом (ТСН) с криогенным охлаждением, рис. 1) для обеспечения более низкого содержания нежелательных остаточных газов в высоковакуумной камере во время напыления пленок. В качестве испарителя в нем использовалась биметаллическая проволока с молибденовым керном, на которой иодидным способом осажден слой титана. Данная конструкция имела ряд преимуществ по сравнению с представленными ранее [8,10,11]. Во-первых, в ней обеспечен легкий доступ ко всем охлаждаемым частям; во-вторых, жила из титана-молибдена не связана конструктивно с корпусом ТСН, что позволяет производить ее замену, не нарушая и не повреждая уплотнения, а также это позволяет менять конструкцию токоведущих частей, которые расположены внутри камеры. В-третьих, установленная заслонка прикрывает полностью камеру установки от прямого осаждения распыленного Ti-Mo из ТСН.

В модифицированной вакуумной системе (рабочий объем $0,3 \text{ м}^3$) минимальное рабочее давление предварительной откачки было $4,7 \cdot 10^{-5}$ Па. Причем это давление могло поддерживаться не только в процессе откачки, но и оставаться практически стабильным в стационарных условиях.

Таким образом, стандартная промышленная высоковакуумная установка была полностью модернизирована так, что это позволило достичь в ней таких низких уровней остаточной атмосферы, которые характерны только для наилучших экспериментальных установок данного типа [12,13]. Это создало благоприятную основу для развертывания экспериментальных работ по приготовлению и отжигу сверхпроводников.

Помимо высоковакуумной части в установку УВН-73П-1 были встроены подвижные системы для подачи микропорций газов (для обдува) практически в любые места установки. Применялись, в основном, аргон и кислород, которые подавались для обдува магнетрона, подложек и т.д. Газы, при необходимости, очищались в криогенных ловушках, и их давление во время поступления в камеру могло регулироваться с помощью микровентилей.

В данной установке был размещен магнетронный узел. Он был спроектирован на основе ранее предложенных конструкций [11,14,15], изготовлен и установлен в камере установки УВН-73П-1 (рис.1). Новый магнетронный узел работал на постоянном токе.

По сравнению с предложенными ранее магнетронными узлами он обладал рядом преимуществ: заметно повышенной эффективностью системы охлаждения, легкой доступностью всех его частей, что дало возможность извлечения магнетронного узла для последующих модификаций.

Конструкция системы охлаждения представляла собой медный держатель мишени с полостью, охватывающей все пространство под треком, через которую подавалась проточная вода. С целью более эффективного охлаждения и для хорошего теплового и электрического контакта использовалась пайка легкоплавкими сплавами (на основе In, Ga, Bi [1,10]) мишени к ее держателю.

В публикациях [15,16] представлены параметры магнетронных распылительных систем. Например, для магнетрона с индукцией магнитного поля 0,04 - 0,06 Тл при давлении аргона 1,33 Па, в процессе напыления, напряжение разряда было 280-400 В при токах питания мишени 0,1 - 1 А. На представленной здесь конструкции, при тех же самых условиях распыления и токах питания мишени, напряжение разряда было существенно ниже: 100 - 250 В [17,18].

Преимущества нового магнетрона, по сравнению с ранее разработанным [10], проявились и при распылении керамических мишеней ВТСП. Данная конструкция позволила ослабить возникающие в них термические деформации, уменьшить растрескивание мишени, обеспечить проведение стабильных процессов напылений и более длительную работу мишеней [6].

Контакты и покрытия на сверхпроводящие пленки напылялись термически из лодочек и спиралей. Блок термического напыления (рис.2) размещался в вакуумной технологической установке УРМ-3, которая также была оснащена и стационарным магнетронным узлом, аналогичным описанному выше. Блок имел два источника распыления и состоял из: защитного кожуха (который не давал распыляемому материалу распространяться за пределы блока); держателей подложек; заслонки; нагревателя и двух испарителей. Нагреватель использовался для нагрева подложек от 20 до 750°C в процессе напыления. Держатели образцов были сменными с различными по типу и форме масками. Это позволяло наносить контакты необходимой формы, размера и конфигурации. На рисунке 2 представлены образцы приготавливаемых контактов для определения критических характеристик пленок ВТСП, а также для создания приемных элементов ИК-излучения.

С помощью двух испарителей можно было осуществлять параллельное или последовательное нанесение материалов за один цикл напыления. С помощью этого блока были нанесены контакты и покрытия из V, Cu, Ag, Sn, Pb, Au, Pt, In на пленки, массивные образцы и ленты из ВТСП.

Помимо напылений в установке УВН-73П-1 проводился отжиг на нагревателях и в тех же средах, что при напылении. Для изучения процессов токового воздействия на сверхпроводники [7,19] вместо нагревателей были установлены специальные зажимы-токовводы, позволяющие избежать деформации образцов во время эксперимента. Контроль температуры осуществлялся с помощью пирометров "ЛОП-72", "Смотрич-1", "Проминь".

Таким образом, в силу поставленных задач и насущных потребностей в вакуумной установке был смонтирован ряд многоцелевых исследовательских и технологических устройств.

Во-первых, вакуумная установка УВН-73П-1 позволяла работать в атмосферах воздуха, кислорода, инертных газов в диапазоне давлений $4,7 \cdot 10^{-5}$ - 10^5 Па. Возможен был не только продув ее кислородом, но и локальное обдувание нагревателя с образцами или мишени кислородом, воздухом или инертными газами.

Во-вторых, модифицированный магнетронный узел с высоким теплосъемом позволял напылять пленки ВТСП и простых металлов. В качестве мишеней использовались спеченные керамические, металлические, составные и сплавные мишени.

В-третьих, система токовводов и нагревателей была рассчитана на нагрев подложек до 2000°C. В качестве подложек использовались Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , Si, Cu, Nb, Mo, Ta, W, V, $SrTiO_3$, $BaTiO_3$, нержавеющая сталь и т.д. Нагреватели использовались различные: просто ленточные, спирально-плоскостные с высокой однородностью прогрева, ленточные, обеспечивающие отсутствие деформации подложки во время ее нагрева - охлаждения. Система нагревателей и

токовводов позволяла проводить отжиги в различных средах и осуществлять токовое воздействие на образцы.

В-четвертых, узел термического напыления с двумя источниками и нагревом подложек до 750°C , размещенный в установке, позволял последовательно или параллельно наносить различные металлические покрытия на массивные и пленочные образцы.

Таким образом, оборудование позволяло проводить комплексные циклы экспериментов от приготовления пленок и покрытий до изучения их свойств при отжиге как с приготовленными образцами, так и с облученными. Эта система была, по своей сути, многофункциональной исследовательской и технологической системой и позволяла решать широкий круг задач.

Нагреватели в установке УВН-73П-1 использовались не только для приготовления сверхпроводящих пленок, но и для проведения отжига уже облученных образцов в высоковакуумных условиях при давлении ниже $1,3 \cdot 10^{-4}$ Па. Проведение отжигов в специальных режимах позволяло восстанавливать первоначальные характеристики сверхпроводящих пленок до облучения [18]. Помимо этого, на базе этих же установок проводились специальные исследования по изучению влияния токового воздействия на свойства сверхпроводников. Проведение процессов токового воздействия в специальных режимах также позволяло восстановить первоначальные характеристики сверхпроводящих образцов после облучения [7, 19].

Для определения критической температуры применялись две методики: резистивная (четырёхконтактный метод) и индуктивная (метод магнитного экранирования - ММЭ) [20]. В методе магнитного экранирования используются две соосные катушки - излучающая и приемная. Между ними размещается пленка, которая при переходе образца в сверхпроводящее состояние ниже T_c начинает экранировать магнитное поле излучающей катушки, что приводит к изменению ϵ (ЭДС) на приемной катушке ($\epsilon_0 = \epsilon$ при $T = T_c$). Диаметры излучающей и приемной катушек - 2 мм, что меньше обычных размеров пленки: 5×12 мм.

Определение T_c проводилось с помощью низкотемпературного штока и периферийной аппаратуры. Был создан ряд измерительных стендов для проведения: 1) измерения T_c с помощью метода магнитного экранирования; 2) измерения T_c с помощью ММЭ и одновременно или отдельно с помощью четырехконтактного резистивного метода; 3) определения T_c в различных точках образца с помощью метода магнитного экранирования; 4) измерения T_c четырехконтактным резистивным методом с использованием паяных контактов.

С помощью системы 2 определялось и электросопротивление образца, в том числе в зависимости от температуры.

Таким образом, представленное оборудование позволяло проводить комплексные эксперименты от напыления сверхпроводящих пленок до изучения их критических, электрофизических и болометрических свойств до и после радиационных, термических и токовых воздействий.

Эксперимент

Для приготовления образцов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$ различной толщины использовался метод магнетронного распыления на постоянном токе [6]. Напыление проводилось в установке УРМ-3. В качестве мишени использовался диск состава $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{2.0}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.25}\text{Cu}_{3.75}\text{O}_x$, согласно работе [21], диаметром 50 мм. Напыление проходило в смеси газов 90% Ar+10% O_2 при давлении 1,3 Па на подложки MgO (100). Подложки закреплялись в нагревателе на расстоянии 25 мм от мишени. В процессе напыления нагреватель имел температуру 400°C.

Напыление продолжалось от 30 до 160 минут и по его окончанию в камеру напускался кислород, после чего нагреватель охлаждался. Затем полученные образцы отжигались в камерной печи при температуре 845-855°C в течение 0,5-7 часов. Остывание до комнатной температуры проходило в печи в течение 10-12 часов. Термообработка проводилась на воздухе.

Для получения пленок различной толщины напыление проводилось в течение 30, 60, 120, 160 мин, отжиг - в течение 1, 2, 4, 7 часов. Существенного различия физических свойств пленок, напыленных в течение 4 и 7 часов, обнаружено не было.

Экспресс-анализ фазового состава полученных пленок проводился с помощью рентгеновского дифрактометра "ДРОН-3". Температура подложек в процессе напыления контролировалась пирометром "Смотич-1". Контроль температуры отжига осуществлялся термопарой Pt-PtRh. Визуальные наблюдения проводились с помощью оптического микроскопа "EPIVAL". Для определения температурной зависимости сопротивления использовался обычный четырехконтактный метод. Измерение толщины пленок проводилось на профилеометре.

Для отработки высокопроизводительной методики изготовления пленок на основе висмута использовалась установка УВН-73П-1, оснащенная подвижным магнетроном (ПМ) оригинальной конструкции, который мог перемещаться в объеме вакуумной камеры.

Напыление так же проводилось из мишени $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{2.0}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.25}\text{Cu}_{3.75}\text{O}_x$ диаметром 55 мм при давлении рабочего газа (90%Ar+10% O_2) 4×10^{-1} Торр. Ток мишени в процессе напыления был 0,08-0,10 А при напряжении разряда 100-120 В. Напыление

проводилось на подложки MgO <100>. Подложки укреплялись в никелевом нагревателе, расположенном в 40 мм от мишени. Нагреватель в процессе напыления имел температуру 370-380°C. Время напыления составляло 1,5 часа. Затем пленки подвергались термообработке в камерной печи в течение 7 часов.

Результаты

В ходе эксперимента на обычном магнетроне были получены пленки различной толщины. Исследования показали, что при неизменном времени отжига 7 часов и температуре 845-855°C получаются пленки фазового состава 2212 с примесью фазы 2223. Пленки, напыленные в течение 30 мин, имели толщину около 2 мкм, были неориентированы или имели слабую ориентацию оси с перпендикулярно к подложке. Пленки, напыленные в течение 160 мин, имели толщину примерно 7 мкм и ориентация оси с была перпендикулярна к подложке. График зависимости сопротивления от температуры для этих пленок приведен на рисунке 3. Ширина перехода по уровням 0,1 - 0,9 составляла 4,5 К, а наклон dR/dT был 0,12 Ом/К. На графике можно отметить особенность в районе 100-105 К, отвечающую наличию фазы 2223.

При уменьшении толщины пленок было отмечено ухудшение структуры и адгезии пленок. Например, пленки, напыленные в течение 160 минут, после отжига были серого цвета, имели поликристаллическую структуру, обладали хорошей адгезией с подложкой. Пленки, напыленные в течение 30 минут, после отжига были черного цвета, имели поликристаллическую структуру, но были рыхлыми и отслаивались. Проведение измерения T_c на этих пленках было крайне затруднительным.

Были проведены исследования влияния длительности отжига на качество пленок малой толщины. Пленки, напыленные в течение 60 минут и отожженные в течение 2 часов, были серого цвета, поликристаллические и имели хорошую адгезию с подложкой. График зависимости сопротивления от температуры для одной из пленок приведен на рисунке 4 (кривая а). Ширина перехода для этих пленок составила около 7 К, наклон dR/dT был менее 0,9 Ом/К. Наличие фазы 2223 в этих пленках не наблюдалось.

Пленки, напыленные в течение 30 минут и отожженные в течение 2 часов, были аналогичны по качеству пленкам, напыленным в течение 60 минут, но имели более высокую критическую температуру (рисунок 4, кривая б). Ширина перехода у этих пленок была около 5 К, наклон $dR/dT = 1,4$ Ом/К. Пленки были однофазными. Можно отметить, например, что ширина перехода для аналогичных висмутовых пленок [22] была более 20 К.

Пленки, напыленные в течение 30 минут и отожженные 1 час также были однофазными, поликристаллическими, имели серый цвет и обладали хорошей адгезией. Температура сверхпроводящего перехода для этих пленок была около 79 К по уровню 0,5, ширина перехода 5 К и $dR/dT = 1,5 \text{ Ом/К}$ (рисунок 4, кривая в), что удобно для их применения в качестве болометрических датчиков.

Следует отметить, что при переходе в нормальное состояние для пленок, напыленных в течение 160 минут, изменение сопротивления составляет около 1 Ом по всей ширине пленки (рис. 3). Пленки, напыленные в течение 30 минут, имеют изменение сопротивления порядка 10 Ом (рис. 4), что значительно повышает чувствительность болометрических приемных элементов на их основе.

Таким образом, отмечено, что более краткие периоды отжига предпочтительнее для тонких пленок и приводят к устойчивому достижению их высоких характеристик.

Критическая температура пленок, приготовленных на подвижном магнетроне, измерялась методом магнитного экранирования. График зависимости экранировки от температуры для двух пленок приведен на рисунке 5. Следует отметить, что критическая температура обеих пленок даже в методе магнитного экранирования отличается не более чем на 10%. На рисунке 6 приведены рентгенограммы этих образцов. Из рентгенограмм видно, что фазовый состав пленок совпадает с точностью снятия рентгеновских дифрактограмм (5% по интенсивности). Содержание фазы 2212 в обеих пленках - около 90%.

Дальнейшие работы на подвижном магнетроне предполагается проводить в направлении подбора режима плазменного разряда для достижения более высоких критических температур и уменьшения ширины перехода.

Выводы

Методом магнетронного распыления на постоянном токе с последующим отжигом были приготовлены пленки Bi-Sr-Ca-Cu-O различной толщины и фазового состава. Было обнаружено, что с уменьшением толщины при отжиге более 4 часов ухудшается их качество. Пленки теряют ориентацию оси с перпендикулярно к подложке, становятся рыхлыми и отслаиваются.

При уменьшении времени отжига были получены образцы фазового состава 2212 95%, толщиной примерно 2 мкм с $T_c = 79 \text{ К}$ по середине сверхпроводящего перехода. При этом пленки имели серый цвет, были поликристаллическими, имели ориентацию оси с перпендикулярно к подложке и хорошую адгезию. Сопротивление на квадрат поверхности в нормальном состоянии составляло 1-10 Ом, что на порядок больше сопротивления пленок толщиной примерно 7 мкм.

Это согласуется с результатами по величине сопротивления на квадрат поверхности в нормальном состоянии, полученными другими группами для пленок системы Y-Ba-Cu-O [23].

Полученные пленки предполагается использовать для изготовления болометрических датчиков, так как температура их перехода близка к точке кипения азота [24].

Были проведены начальные эксперименты на установке, оснащенной подвижным магнетроном. Фазовый состав различных образцов совпадает с точностью измерения на рентгеновском дифрактометре.

Авторы выражают благодарность Братухину П.В. за экспресс-анализ пленок на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.

Литература

1. Леонов В. Н. и др. // ПТЭ. 1993. N 4. С. 11.
2. Гапонов С. В. и др. // Письма в ЖТФ. 1994. Т 14. Вып. 20. С. 1836-1838.
3. Хребтов И. А. // ПТЭ. 1984. № 7. С. 5-23.
4. Рябинин В. С. // Высокотемпературная сверхпроводимость. 1990. N2. С. 80.
5. Хребтов И. А. и др. // ПТЭ. 1993. N 2. С. 162.
6. Антопенко С. В., Братухин П. В., Брызгунов К. В. // СФХТ. 1993. Т 6. N 8. С. 1708-1712.
7. Антопенко С. В., Елесин В. Ф., Жучков В. Е., Командин Г. А. Исследование поведения сверхпроводников в радиационных и температурных полях. М.: Препринт / МИФИ, 008-96, 1996. - 28с.
8. Технология тонких пленок: Справочник / Под ред. Л. Майсела и Р. Глэнга; Пер. с англ. под ред. М. И. Елинсона, Г. Г. Смолко. М.: Сов. радио, 1977.
9. Физика тонких пленок, т. 1, М.: Мир, 1967. *Автор или ред.?*
10. Розанов Л. Н. Вакуумная техника. М.: Высш. школа, 1982. - 207 с.
11. Антопенко С. В., Дежурко К. И., Колясников В. А., Лебединский Ю. Ю. // В сб. Изменение свойств сверхпроводящих соединений типа А-15 под воздействием излучений. М.: Энергоатомиздат, 1986. С. 54-59. *Исч. с.?*
12. Холланд Л. Тонкопленочная микроэлектроника. М.: Мир, 1968.
13. Maynard C.P. Vacuum, 1965, 15, 239.
14. Penning F.M., Moubis J.N.A. Proc. Koninkl. Ned. Acad. Wetenschap, 1940, 43, 41.
15. Kubo S., Nakamura K., Ogarashi M. // Japan. J. Appl. Phys., 1982, v.21, No4, p.601-611.
16. Данилин Б. С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М.: Энергоатомиздат, 1989.
17. Антопенко С. В., Командин Г. А. // ПТЭ. 1991. No 4. С. 240.
18. Антопенко С. В., Дежурко Н. Н., Елесин В. Ф. и др. // СФХТ. 1994. Т. 7. No 3. С. 559.
19. Антопенко С. В., Брызгунов К. В., Жучков В. Е. // СФХТ. 1995. Т 8. N 1. С. 81.

20. Евстигнеев В.В., Елесин В.Ф., Опенов Л.А., А.с. 1499419 // Б.И. 1989, No 2, с. 64
21. Ogushi et al, Appl. Phys. Lett. , 55 (15), 1989, p.1569.
22. J. M. Chavalek, C. Uher et al, Appl. Phys. Lett. , 57 (16), 1990, p.1696-1698.
23. Антопенко С.В., Брызгунов К.В., Гетманский Л.А. Сборник тезисов ВНКСФ-3, 1996г., с. 37-38.

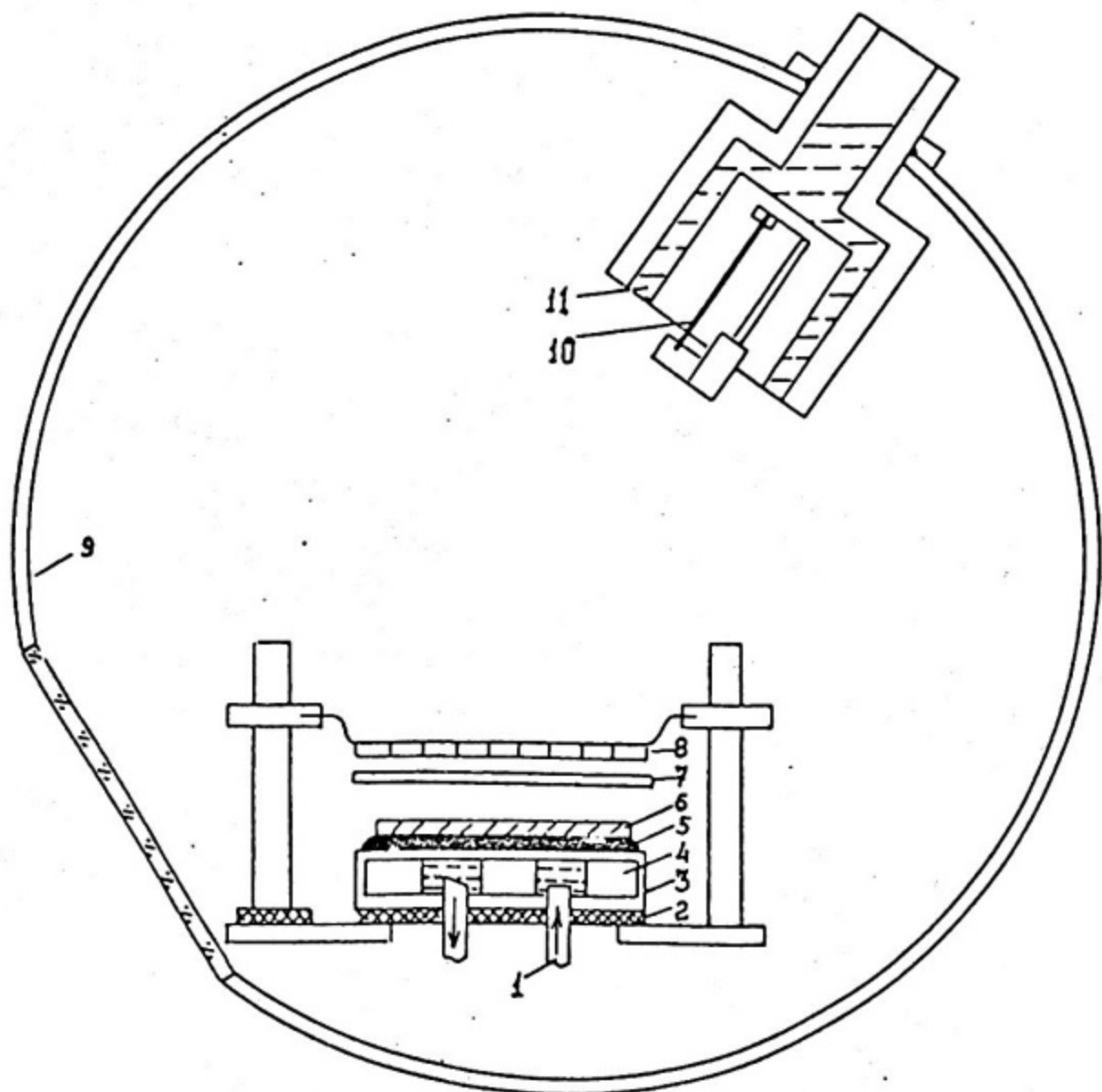


Рис. 1. Многофункциональная исследовательская установка:
 1 - трубка для подачи воды, 2 - изолятор, 3 - корпус магнетрона, 4 - магниты, 5 - приём, 6 - мишень, 7 - заслонка, 8 - нагреватель с подложками, 9 - корпус установки, 10 - жила нагревателя ТЧН, 11 - жидкий азот.

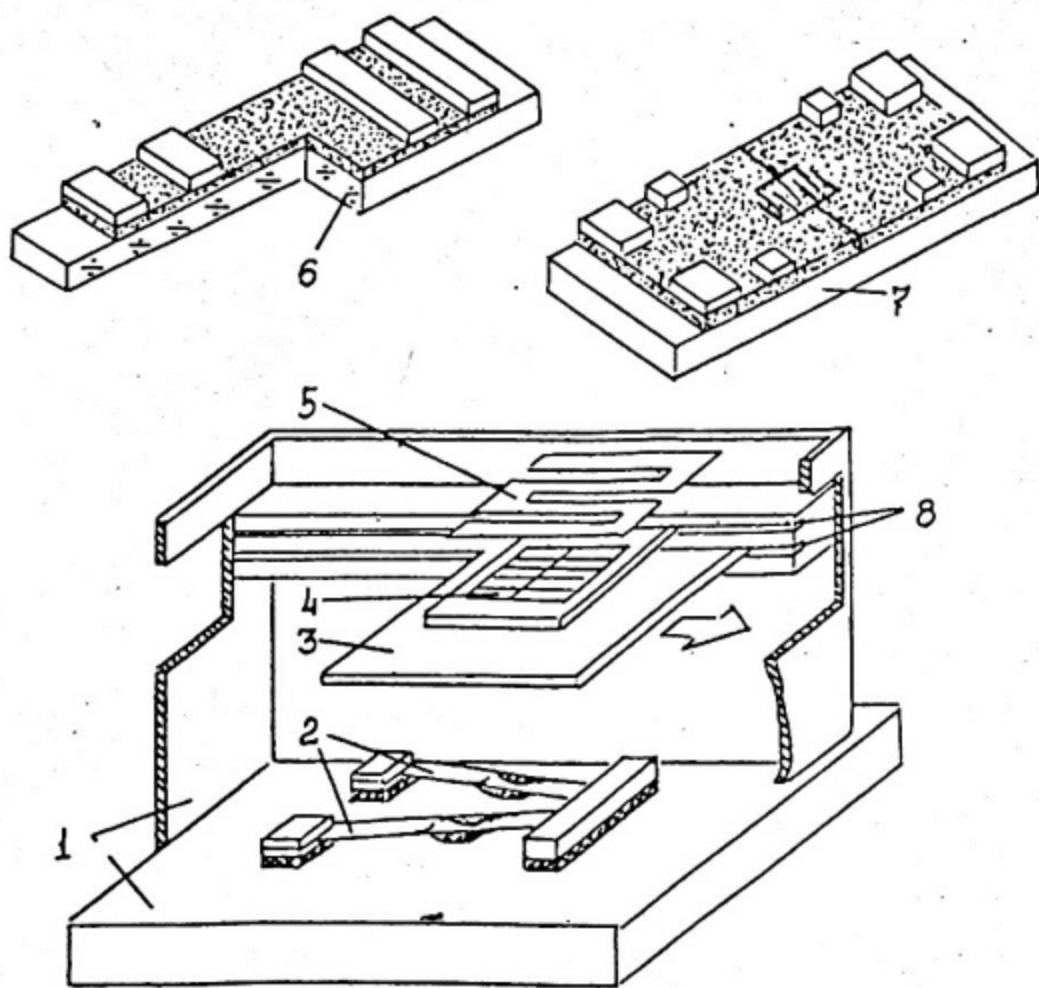


Рис. 2. Блок термического напыления: 1 - корпус, 2 - нагреватели, 3 - заслонка, 4 - маска с подложками, 5 - нагреватель подложек, 6,7 - пленки с контактами, 8 - направляющие.

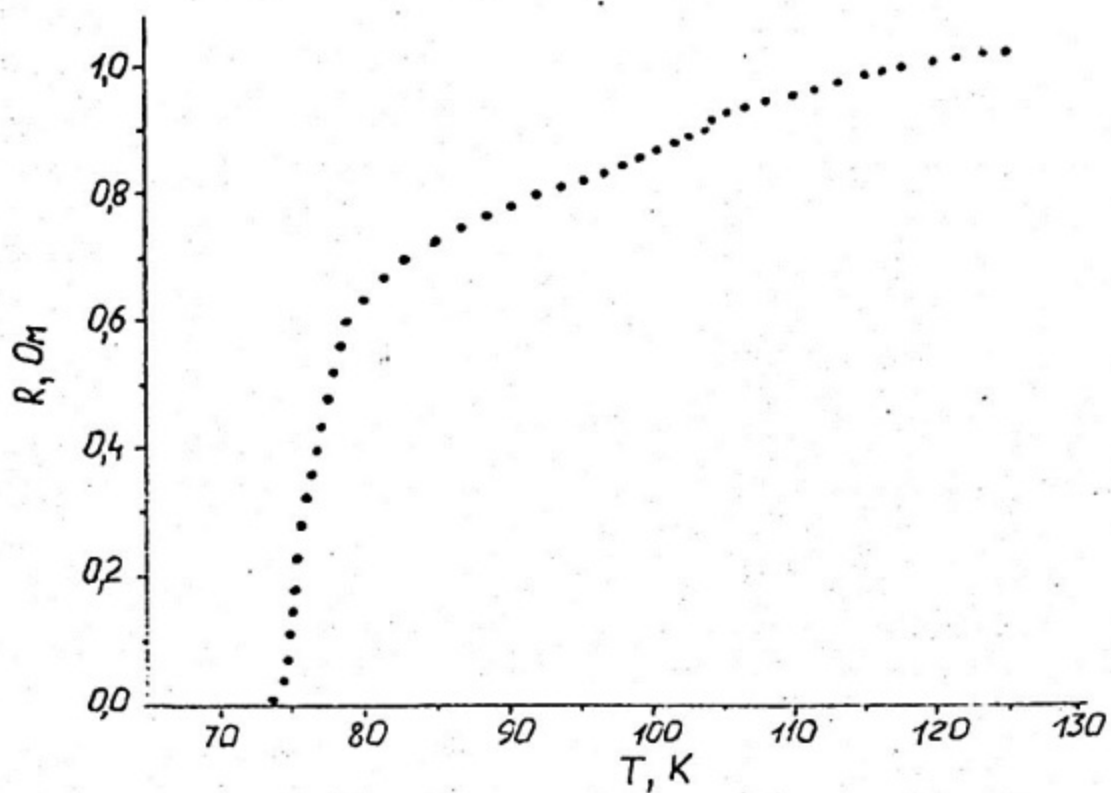


Рис. 3. График зависимости сопротивления от температуры для пленки, напыленной в течение 160 мин при времени отжига 7 часов.

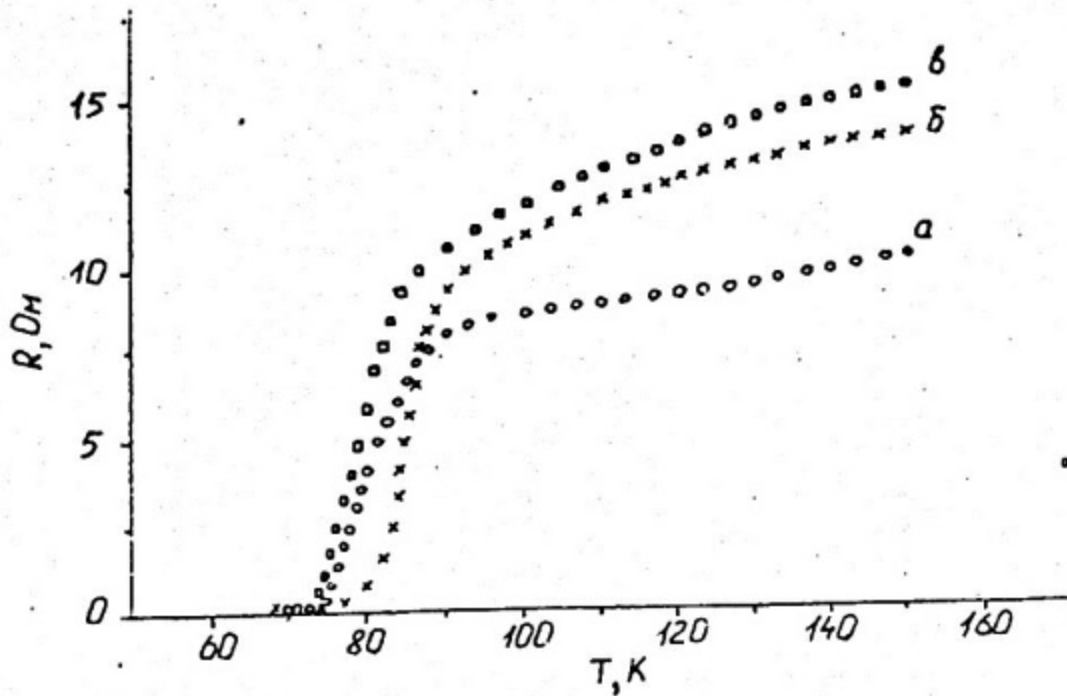


Рис. 4. График зависимости сопротивления от температуры пленок:
 а - напыленных в течение 60 минут, время отжига 2 часа; б -
 напыленных в течение 30 минут, время отжига 2 часа; в -
 напыленных в течение 30 минут, время отжига 1 час.

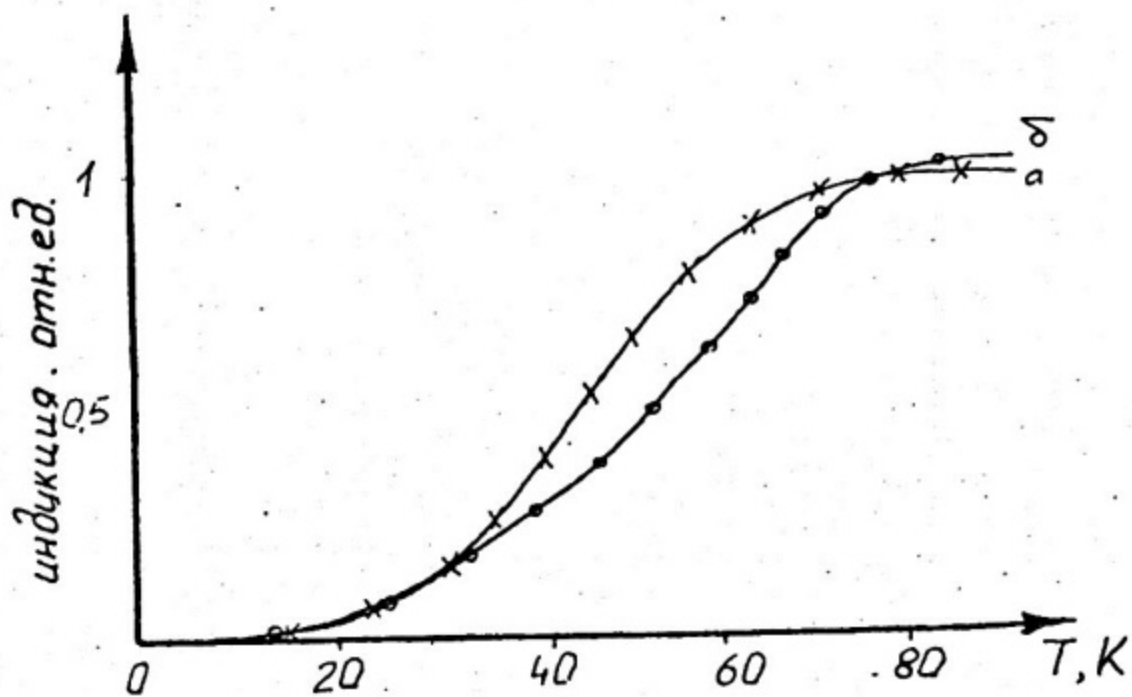


Рис. 5. График зависимости индукции от температуры для пленок, напыленных на подвижном магнетроне в течение 3 часов, время отжига 7 часов.

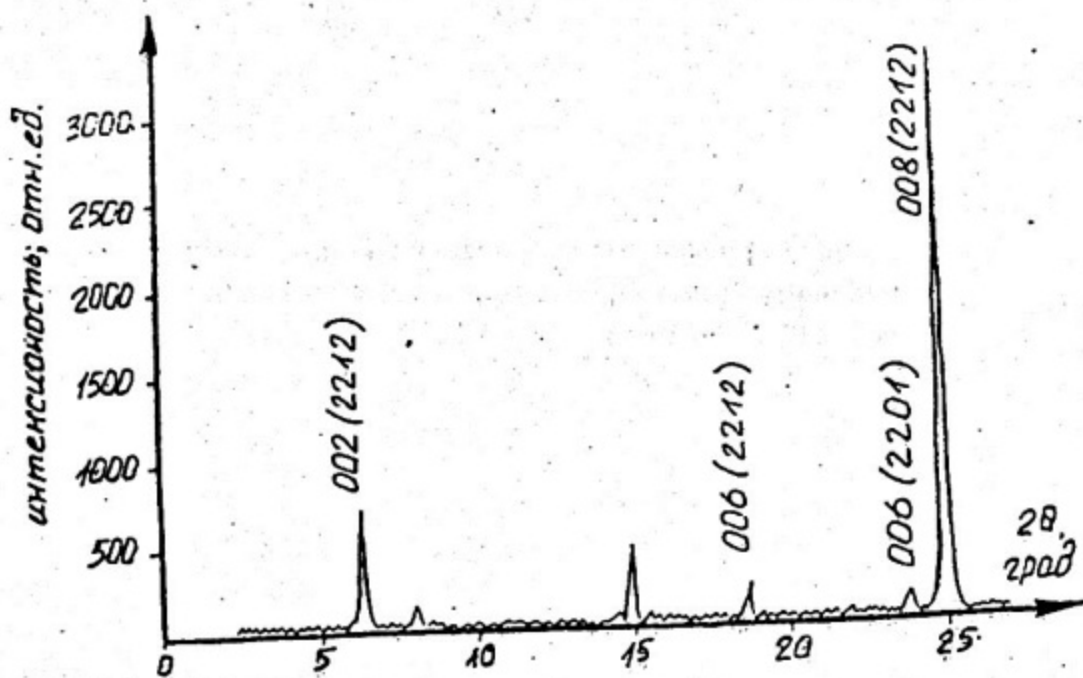
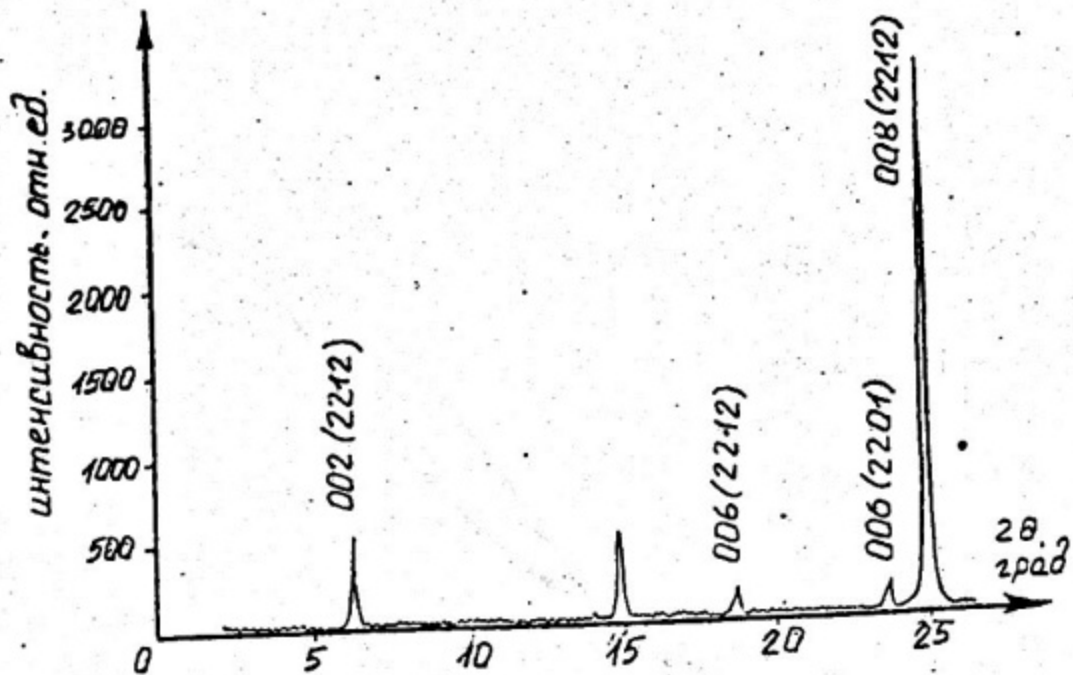


Рис. 6. Рентгенограммы пленок, напыленных на подвижном магнетроне в течение 3 часов, время отжига 7 часов.