

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАМОРФНОГО БУФЕРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕМТ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ InAs В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ НА ПОДЛОЖКАХ GaAs И InP

Г.Б. ГАЛИЕВ¹, И.С. ВАСИЛЬЕВСКИЙ², Е.А. КЛИМОВ¹,
С.С. ПУШКАРЁВ^{1,2}, О.А. РУБАН^{1,2}

¹Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники РАН
117105, г. Москва, Нагорный проезд, дом 7, корп. 8/0, e-mail: galiev_galib@mail.ru

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, г. Москва, Каширское шоссе, дом 31, e-mail: ivasilevskii@mail.ru

На сегодняшний день псевдоморфные НЕМТ гетероструктуры с квантовой ямой (КЯ) $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}/\text{In}_{0.70}\text{Ga}_{0.30}\text{As}$, выращенные на подложке InP, позволяют изготовить СВЧ транзисторы с рекордной частотой отсечки f_T до 681 ГГц [1]. Альтернативой структурам такого типа являются структуры с метаморфным буфером (ММБ), выращенные на подложках GaAs с содержанием InAs в КЯ от 52% и выше.

В настоящей работе представлены результаты исследования выращенных методом МЛЭ метаморфных НЕМТ наногетероструктур с δ -легированным кремнием КЯ $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ толщиной 160–200 Å. В наногетероструктурах варьировался состав и толщина ММБ $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ при сохранении линейного закона возрастания x вдоль толщины. Образцы 1–3 выращены на подложках GaAs, а 4 – на подложке InP. Параметры образцов приведены в таблице 1. Подвижность μ_e и концентрация n_S электронов в образцах были исследованы методом Ван дер Пау, а морфология рельефа поверхности была исследована методами АСМ и РЭМ (см. табл. 2). На области 9.5×9.5 мкм была измерена среднеквадратичная шероховатость поверхности (RMS).

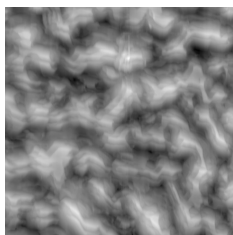


Рис. 1. АСМ изображение поверхности образца 3



Рис. 2. АСМ изображение поверхности образца 4

Как видно из данных табл. 2 и рис. 1–2, наблюдается чёткая корреляция электрофизических параметров образца с шероховатостью его поверхности. Образец 1 с умеренным перепадом состава обладает высокой подвижностью μ_e и достаточно гладкой поверхностью. Образцы 2 и 3 с высоким содержанием InAs отличались толщиной ММБ. Оказалось, что данные образцы, в от-

личие от образца 1, не обладают хорошим кристаллическим качеством. Это проявляется, во-первых, в развитом рельефе поверхности, а во-вторых, в локализации и рассеянии электронов на дефектах, что проявляется в уменьшении n_S и сильном уменьшении μ_e . Рост метаморфной наногетероструктуры на InP подложке привёл к отличной морфологии поверхности и высоким значениям μ_e , в том числе, заметному возрастанию μ_e при низкой температуре.

Мы связываем деградацию кристаллической структуры с двумя факторами: с одной стороны, с большим градиентом состава ММБ, с другой – возможным отличием процессов, происходящих при росте трёхкомпонентного ММБ с большим диапазоном состава (например, появлением индуцированного деформациями фазового расслоения при больших значениях x). Для получения качественной кристаллической структуры ограничение первого фактора необходимо, но не достаточно, поскольку в образце 3 с уменьшенным градиентом состава ММБ наблюдается дальнейшее уменьшение значений μ_e и n_S и увеличение шероховатости поверхности. Преодоление же второго фактора требует поиска принципиально иного методологического подхода к росту ММБ с большим перепадом состава и высоким содержанием InAs.

Таблица 1

Параметры образцов (h – толщина ММБ, x_0 и x_1 – начальная и конечная молярные доли InAs в ММБ, $\text{grad}(x)$ – градиент состава ММБ)

Образец	h , мкм	x_0	x_1	$\text{grad}(x)$, мкм ⁻¹	Состав КЯ
1	1.29	0.07	0.40	0.256	$x = 0.38 / y = 0.38$
2	1.08	0.06	0.74	0.630	$x = 0.70 / y = 0.75$
3	1.50	0.06	0.74	0.453	$x = 0.70 / y = 0.75$
4	0.93	0.57	0.74	0.183	$x = 0.70 / y = 0.75$

Таблица 2.

Электрофизические параметры и шероховатость поверхности образцов

Образец	μ_e см ² (В·с) ⁻¹		n_S 10 ¹² см ⁻²		RMS, нм
	300 К	77 К	300 К	77 К	
1	6940	19670	3.4	3.2	1.8
2	730	520	1.22	1.14	22.8
3	440	260	1.16	1.12	32.4
4	12500	51000	1.5	1.4	2.4

Выражаем благодарность сотрудникам лаборатории зондовой микроскопии НИИВТ им. С.А. Векшинского С.Б. Нестерову и Р.А. Нежметдиновой. Работа выполнена при финансовой поддержке программы президиума РАН № 21 и проекта ФЦП «Кадры» НК616П39.

Литература

1. Dae-Hyun Kim et al., IEEE Electron Device Letters **31** (8), 806 (2010).
2. Nathaniel J. Quitoriano et al., Journal of applied physics **102**, 033511 (2007).