

УДК 621.383.4/5
EDN: DVVSWYPACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz,
07.57.Kp, 85.60.Dw

Контроль качества гетероэпитаксиальных структур КРТ, предназначенных для изготовления фотоприемных устройств длинноволнового ИК диапазона спектра

Н. И. Яковлева, К. О. Болтарь, Р. В. Давлетшин, А. В. Никонов

Исследованы морфология поверхности и спектры пропускания гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) на основе тройного раствора кадмий-ртуть-теллур (КРТ, CdHgTe), выращенных методами молекулярно-лучевой (МЛЭ) и жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ), и предназначенных для изготовления фотоприемных устройств (ФПУ) длинноволнового ИК диапазона спектра (8–12 мкм). Исследована неоднородность спектральных характеристик чувствительности отдельных фоточувствительных элементов (ФЧЭ) в линейках многорядной матрицы, сформированной в ГЭС КРТ, выращенной методом ЖФЭ. Матрицы ФЧЭ (МФЧЭ) должны иметь малый разброс граничной длины волны и однородные спектральные характеристики чувствительности, что достигается уменьшением неоднородности мольной доли x рабочего поглощающего слоя из CdHgTe до значений менее 0,1 % по площади пластин ГЭС КРТ.

Ключевые слова: гетероэпитаксиальная структура (ГЭС); LWIR; КРТ; HgCdTe; спектры пропускания; морфология поверхности.

DOI: 10.51368/2307-4469-2025-13-2-132-140

1. Введение

Для изготовления матриц фоточувствительных элементов (МФЧЭ) на основе гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) тройного рас-

твора кадмий-ртуть-теллур (КРТ, CdHgTe) длинноволнового ИК диапазона спектра проводится контроль гетероструктур КРТ, обладающих важной совокупностью свойств, необходимых для производства фотоприемных устройств с заданными параметрами [1]. К преимуществам материала HgCdTe можно отнести возможность получения низких и высоких концентраций носителей заряда, высокую подвижность электронов, и низкую диэлектрическую постоянную. При условии малого изменения постоянной кристаллической решетки от состава методами молекулярно-лучевой (МЛЭ) и жидкофазной эпитаксией (ЖФЭ) можно последовательно выращивать варизонные структуры и эпитаксиальные слои без ухудшения качества кристаллической структуры. Дополнительно фундаментальные свойства материала КРТ ($Cd_xHg_{1-x}Te$) обеспечивают преимущества по обнаружительной способности (D^*) и эквивалентной шуму разности температур (NETD, ЭШРТ) при произ-

Яковлева Наталья Ивановна¹, гл.н.с., д.т.н.

E-mail: niakovleva@mail.ru

Болтарь Константин Олегович^{1,2}, нач. НТК, д.ф.-м.н., профессор.**Давлетшин Ренат Валиевич**¹, вед. инженер.**Никонов Антон Викторович**^{1,2}, в.н.с., к.ф.-м.н.¹ АО «НПО «Орион».

Россия, 11538, Москва, ул. Косинская, 9.

² Московский физико-технический институт

(национальный исследовательский университет).

Россия, 141701, Московская обл., г. Долгопрудный,

Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 20.02.2025

После доработки 4.03.2025

Принята к публикации 14.04.2025

Шифр научной специальности: 1.3.11

© Яковлева Н. И., Болтарь К. О., Давлетшин Р. В.,
Никонов А. В., 2025

водстве охлаждаемых ФПУ по сравнению с другими типами инфракрасных фотодетекторов [2].

Качество МФЧЭ и ФПУ на основе ГЭС КРТ во многом определяется структурным совершенством, однородностью электрофизических свойств, устойчивостью к внешним воздействиям и состоянием поверхности. Так неоднородность состава материала CdHgTe в поглощающем слое длинноволнового ИК-диапазона по площади и толщине слоя считается серьезной проблемой. Изменение состава $x \text{ Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ по площади структуры вызывает неоднородность спектральной чувствительности ФЧЭ. Известно, что при температуре $T = 77 \text{ K}$ изменение состава на $\sim 0,1 \%$ приводит к изменению граничной длины волны на $\Delta\lambda_{\text{cutoff}} \approx 0,1 \text{ мкм}$ в длинноволновом ИК-диапазоне, что в свою очередь вызывает неоднородность фотосигнала по площади матрицы и приводит к возникновению повышенных низкочастотных шумов. Как следствие, качество тепловизионного изображения ухудшается, а его несовершенство сложно скорректировать двухточечной коррекцией.

В работе представлены результаты исследований морфологии поверхности и спектров пропускания ГЭС КРТ, выращенных методами МЛЭ и ЖФЭ, исследована неоднородность спектральной чувствительности ФЧЭ на основе КРТ длинноволнового ИК диапазона спектра.

2. Исходные гетероструктуры КРТ

Наиболее перспективными для производства ФПУ считаются гетероструктуры CdHgTe , выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии [3–5]. ГЭС КРТ МЛЭ выращиваются на подложках из GaAs и Si в Институте физики полупроводников СО РАН (г. Новосибирск) [6, 7] на многокамерной сверхвысоковакуумной установке «Обь-М», имеющей в составе: вакуумные средства откачки; технологические камеры, оснащенные источниками молекулярных потоков основных и легирующих компонентов; манипуляторы и средства контроля по дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭО), по спектральной эллипсометрии (СЭ) и др. В процессе роста и последующих операций двухстадийного отжига формируется *n-on-p*-структура КРТ с поглощающим слоем *p*-типа проводимости и широкозонным слоем на по-

верхности структуры для уменьшения темновых токов. Преимуществами метода МЛЭ являются: возможность создания однородных пластин КРТ заданного объема, нужного состава и уровня легирования при низкой температуре роста.

Не менее важным является метод получения эпитаксиальных слоев твердых растворов КРТ жидкофазной эпитаксией. Жидкофазные эпитаксиальные слои $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ состава $x = 0,228\text{--}0,232$ мол. дол. диаметром 20–30 мм и толщиной $t = 15\text{--}25 \text{ мкм}$ выращиваются в АО «Гиредмет» (Москва) на подложках ориентации (111) и (211) из тройного соединения $\text{Cd}_{1-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ ($y = 0,02\text{--}0,05$) путем принудительного охлаждения из раствора–расплава на основе Te в интервале температур $\Delta T = 510\text{--}470 \text{ }^\circ\text{C}$ [8]. Для уменьшения концентрации дырок слои подвергаются отжигу в насыщенных парах ртути при температуре $T \sim 340\text{--}360 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3–10 часов.

Наиболее развитым в РФ считается метод кристаллизации из двухфазной смеси. Процесс выращивания проводится в запаянной ампуле с использованием графитовой оснастки для размещения раствора-расплава и подложек. После отжига в парах ртути материал КРТ приобретает требуемые электрофизические параметры. Преимуществом метода является высокое кристаллическое совершенство слоев с малым числом дислокаций, менее $5 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$. Основным недостатком метода ЖФЭ является сложность достижения зеркально-гладкой поверхности эпитаксиального слоя с заданной нанощероховатостью, необходимой для изготовления полноформатных матриц фоточувствительных элементов с малым шагом.

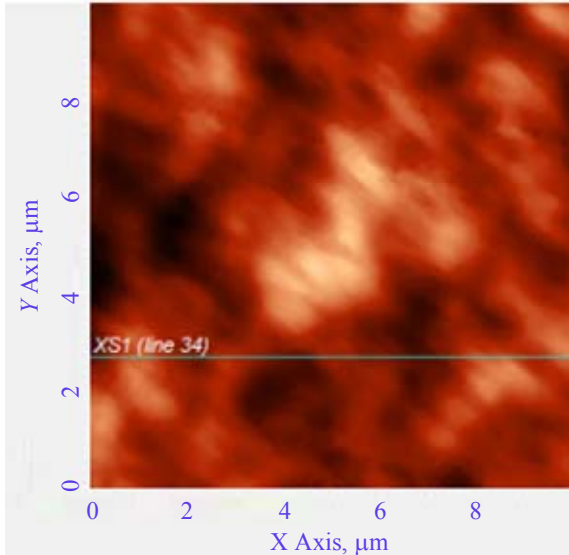
Дальнейшее развитие технологии получения ФПУ на основе CdHgTe будет связано с использованием гетероэпитаксиальных структур со сложной многослойной архитектурой и барьерными слоями, включающими сверхрешетки третьего рода $\text{HgTe}/\text{HgCdTe}$ [9–11].

3. Исследование морфологии поверхности и спектров пропускания гетероструктур КРТ

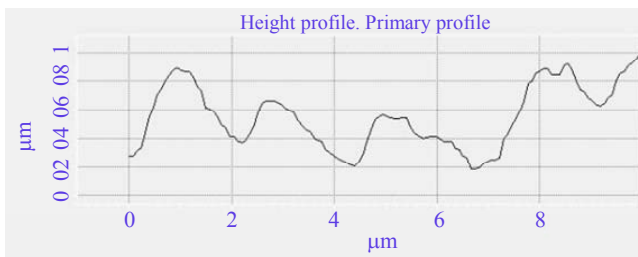
3.1 ГЭС КРТ, выращенные методом МЛЭ

Морфология поверхности ГЭС КРТ МЛЭ в режиме 2D показана на рисунке 1а, на ри-

сунке 1б представлен профиль поверхности вдоль линии сканирования. Из рисунка видно, что высота кристаллической неоднородности структуры незначительна и близка к нескольким нанометрам.



а) вид 2D и траектория сканирования



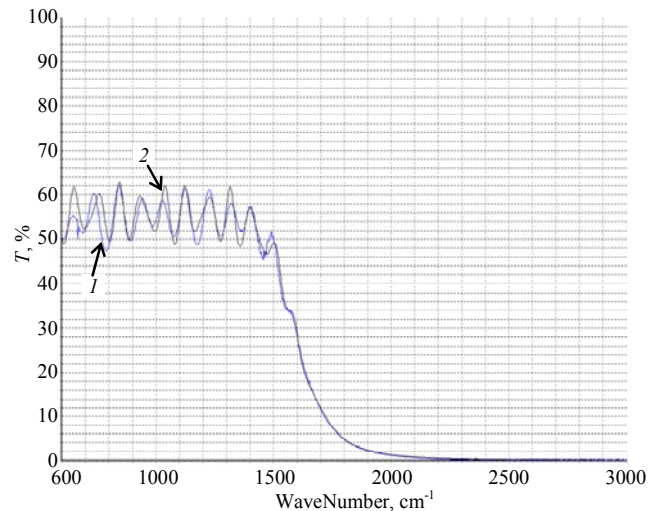
б) профиль поверхности вдоль линии сканирования

Рис. 1. Изображение поверхности ГЭС КРТ МЛЭ на атомно-силовом микроскопе «Ntegra Maximus»

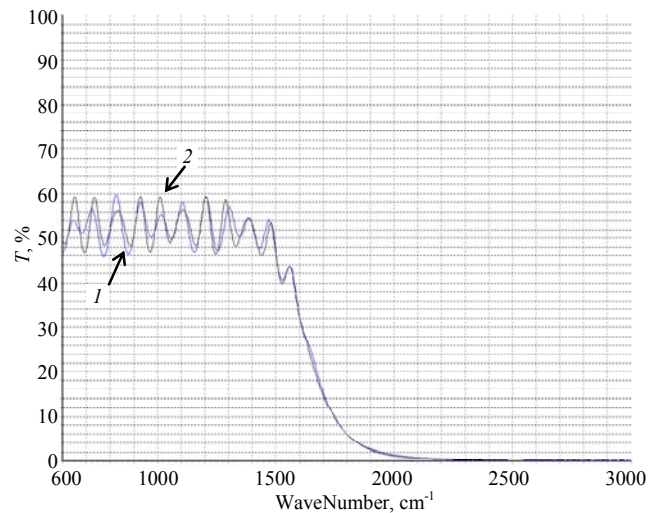
Для определения состава рабочих поглощающих слоев ГЭС КРТ длинноволнового ИК диапазона спектра на Фурье-спектрометре Vertex-70 фирмы Bruker проведены измерения спектров пропускания образцов ГЭС КРТ МЛЭ № 01 и № 02. Спектры пропускания и результаты их математического моделирования показаны на рисунке 2.

Из рисунка 2а, б видно, что результирующий спектр пропускания представляет взаимное наложение интерференционных полос, возникающих в результате отражения от границ раздела слоев гетероструктуры. Максимальное значение пропускания приближается к 62 %; граничная длина волны по уровню 0,5

при $T = 300$ К и волновом числе $N = 1600$ cm^{-1} составила $\lambda_{0,5}(T = 300) = 6,25$ μm , что при рабочей температуре $T = 80$ К соответствует длине волны $\lambda_{0,5}(T = 80) \sim 9,5$ μm . Средний разброс состава по площади пластин ГЭС КРТ МЛЭ имел значение $\Delta x \sim 0,002$ мол. дол., что не превышает погрешности измерений. Результаты моделирования спектральных характеристик пропускания ГЭС КРТ сведены в таблицу 1.



а) ГЭС КРТ № 01



б) ГЭС КРТ № 02

Рис. 2. Спектры пропускания (1 – экспериментальный (синий) и 2 – результат моделирования (черный))

Таким образом, соответствие параметров, представленных в сертификатах на ГЭС КРТ и данных, полученных в результате анализа спектров ИК-пропускания, удовлетворительное. При симуляции спектров пропускания пики модуляции совпадают по длинам волн, а

толщины слоев в целом соответствуют паспортным значениям. Незначительно отличается состав рабочих и варизонных слоев, средне-квадратичное отклонение экспериментальных кривых от расчетных близко к ~ 1,6 %.

Основными показателями структурного совершенства эпитаксиальных слоев CdHgTe являются: плотность дислокаций и наличие

структурных и поверхностных дефектов [12]. Распределение поверхностных дефектов по структурам КРТ изучалось на оборудовании Candela CS10 (США). Гистограмма распределения количества поверхностных дефектов от их размера для одной из структур КРТ, выращенной МЛЭ на подложке из GaAs с ориентацией (013), показана на рисунке 3.

Таблица 1

Результаты моделирования спектров пропускания ГЭС КРТ МЛЭ

Спектр: КРТ 01		Паспортные данные	Результаты моделирования
Верхний варизонный слой	Толщина, мкм	0,5	1,5313
	Состав, мол.дол.	0,223...0,520	0,2338
Рабочий слой	Толщина, мкм	8,5	8,3438
	Состав, мол.дол.	0,221 ± 0,0015	0,2239
Нижний варизонный слой	Толщина, мкм	1,7	4,7000
	Состав, мол.дол.	0,223...0,440	0,2407
Буферный слой	Толщина, мкм	0,1 + 6,3	6,6813
Ошибка вычислений, %			1,64899 %
Спектр: КРТ 02		Паспортные данные	Результаты моделирования
Верхний варизонный слой	Толщина, мкм	0,5	2,5625
	Состав, мол.дол.	0,224...0,480	0,2463
Рабочий слой	Толщина, мкм	8,3	8,1750
	Состав, мол.дол.	0,224 ± 0,0025	0,2271
Нижний варизонный слой	Толщина, мкм	1,7	4,1000
	Состав, мол.дол.	0,224...0,440	0,2395
Буферный слой	Толщина, мкм	0,1 + 6,3	5,8064
Ошибка вычислений, %			1,59350 %

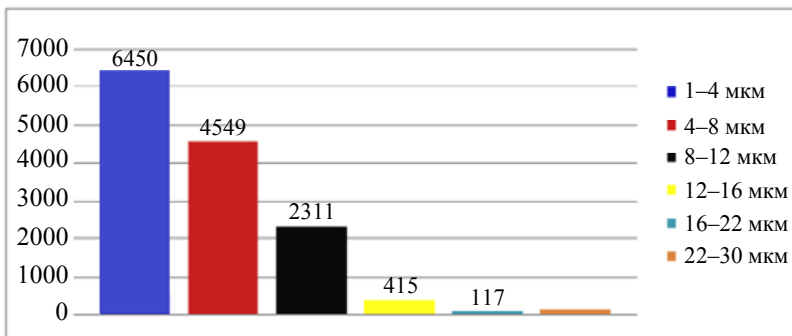


Рис. 3. Гистограмма распределения количества дефектов в зависимости от их размера для образца ГЭС КРТ 02

На гистограмме представлено распределение количества дефектов по установленному размерному ряду. Слева гистограммы имеется шкала, показывающая количество дефектов, справа – размер дефекта в микронах. Для представленной структуры суммарное значение дефектов размером более 8 мкм составило $2311 + 415 + 117 + 57 \approx 2900$ шт. с плотностью $2900 \text{ шт./}17 \text{ см}^2 = 170 \text{ шт./см}^2$, это

дефекты, которые неминуемо приводят к дефектам фоточувствительных элементов матрицы. На поверхности структуры также присутствуют дефекты с размерами менее 4–8 мкм в количестве 4549 шт. и с плотностью $4549/17 \text{ см}^2 \approx 268 \text{ шт./см}^2$, которые с высокой вероятностью могут вызвать появление дефектов отдельных ФЧЭ. Для МФЧЭ размером $\sim 1 \text{ см}^2$, считая, что дефекты распределены

равномерно, получим в процентах приближенное количество неработающих элементов $(170 + 268)/512/640 = 0,13 \%$, что означает, что пластина ГЭС КРТ, удовлетворяет требованиям по дефектности и подходит для изготовления МФЧЭ с количеством дефектных элементов менее 0,5 %. Однако, помимо указанных дефектов имеются дефекты с размерами 1–4 мкм с плотностью $6450/17 \text{ см}^2 \approx 380 \text{ шт./см}^2$, данные микродефекты с высокой вероятностью вызывают токи утечки у отдельных ФЧЭ и ухудшают эквивалентную шуму разность температур, они также обуславливают нелинейность параметров ФЧЭ и неоднородность чувствительности по матрице 0,1 %. Дефекты размером менее 1 мкм и сверхмелкие дефекты не измерялись по данной методике. Для выявления степени воздействия таких дефектов на параметры ФПУ необходимы дополнительные исследования.

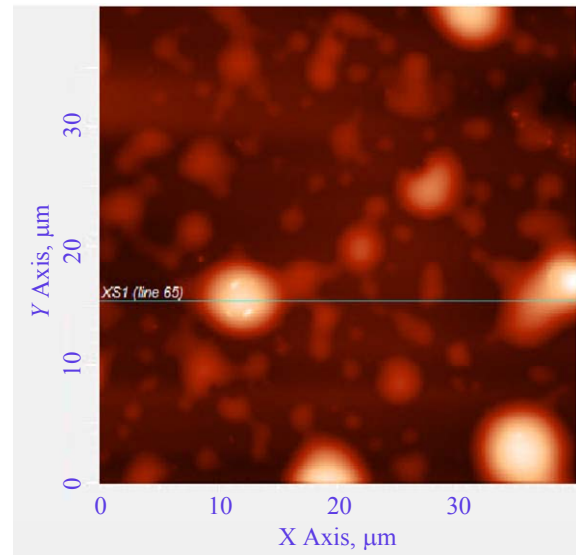
3.2 ГЭС КРТ, выращенные методом ЖФЭ

Морфология поверхности ГЭС КРТ ЖФЭ после роста и отжига изучалась на атомно-силовом микроскопе «Ntegra Maximus». Поскольку качество поверхности ГЭС КРТ ЖФЭ зависит от скорости охлаждения раствора-расплава в случае перенасыщения путем принудительного охлаждения и степени переохлаждения раствора-расплава в случае изотермического выращивания слоев, на поверхности структуры могут образовываться капли материала КРТ (рис. 4).

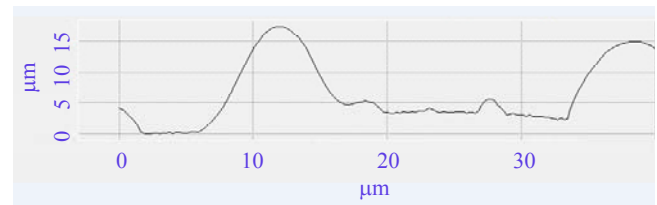
Высота кристаллической неоднородности структуры составила $\sim 15,0 \text{ нм}$. Дополнительно установлено, что в приповерхностном слое, толщиной 1–2 мкм, вследствие режимов охлаждения и температуры выращивания состав материала КРТ может отличаться от состава в рабочей области слоя. Как правило, приповерхностная область обогащена ртутью, поэтому приповерхностный слой необходимо удалять.

Переходная область между подложкой CdZnTe и рабочим слоем заданного состава ($x = 0,228\text{--}0,232$) составляет $\sim 5 \text{ мкм}$ и более, ее толщина определяется температурами под-

ложки и раствора-расплава в момент их контакта друг с другом и временем проведения процесса выращивания. С целью получения слоев с улучшенной морфологией поверхности необходимо поддерживать скорость охлаждения раствора-расплава не более $0,2 \text{ }^\circ\text{C/мкм}$ или создать переохлаждение не более $10 \text{ }^\circ\text{C}$ и менее.



а) вид 2D и траектория сканирования



б) профиль поверхности вдоль линии сканирования

Рис. 4. Изображение поверхности ГЭС КРТ ЖФЭ на атомно-силовом микроскопе «Ntegra Maximus»

Состав эпитаксиальных слоев определяется по спектрам пропускания при $T = 300 \text{ К}$. Спектры пропускания образцов ГЭС КРТ измерялись на Фурье-спектрометре Vertex-70 фирмы Bruker при температуре $T = 300 \text{ К}$. Результаты измерений представлены на рисунке 5.

В таблице 2 показаны начальные данные образцов ГЭС КРТ, выращенных методом ЖФЭ, и данные входного контроля.

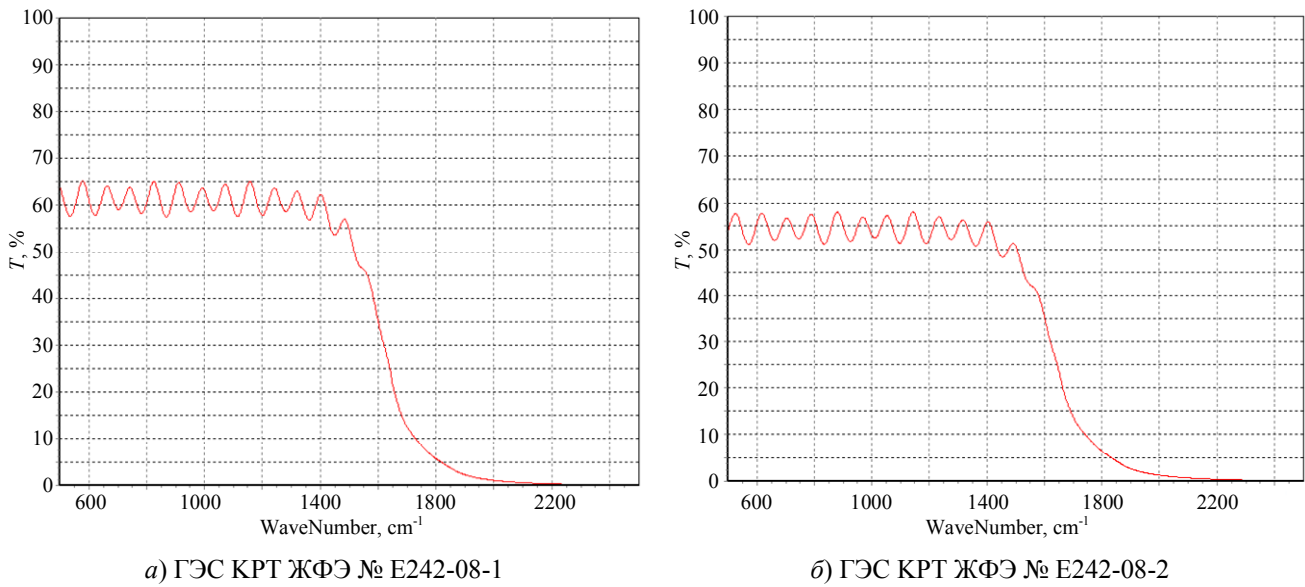


Рис. 5. Спектры пропускания эпитаксиальных слоев КРТ, выращенных методом ЖФЭ

Таблица 2

Паспортные и данные контроля образцов ГЭС КРТ, выращенных методом ЖФЭ

Паспортные характеристики						Измеренные характеристики				
Образец	Состав, x	d _{пас} , мкм	P, см ⁻³	μ, см ² /В·с	n _{0,5γ} , см ⁻¹	T _{max} , %	x	d _{изм} , мкм	λ, мкм	E _g , эВ
E242-08-1	0,228	15	1,6·10 ¹⁶	495	1602	65,3	0,228	15	9,30	0,133
E242-08-2	0,229	12	1,2·10 ¹⁶	520	1604	58,7	0,229	12	9,32	0,133
E242-08-3	0,231	11	1,1·10 ¹⁶	510	1606	53,6	0,231	11	9,33	0,134

Отражение падающего излучения от границ раздела воздух – ГЭС КРТ, ГЭС КРТ – подложка сопровождается интерференционным эффектом, поэтому спектры пропускания имеют характерную волнистую картину. Ширина запрещенной зоны рабочего поглощающего слоя КРТ рассчитывалась согласно эмпирической зависимости [13]:

$$E_{g3}(x, T) = -0,302 + 1,93x - 0,81x^2 + 0,832x^3 + 5,35 \times 10^{-4} \times (1 - 2x) \times \left(\frac{-1822 + T^3}{255,2 + T^2} \right)$$

Проведенные исследования методом Холла показали, что эпитаксиальные слои p-типа проводимости имеют концентрацию дырок в диапазоне 7,0·10¹⁵–2,0·10¹⁶ см⁻³ и подвижность – 400–650 см²/В·с при T = 77 К. Разброс состава x по площади слоев составил Δx = 0,002–0,003 мольных долей CdTe. Различия абсолютных значений состава x по пас-

портным данным и по результатам входного контроля находятся в рамках погрешности измерений.

На основе структуры, выращенной ЖФЭ, изготовлено ФПУ формата 6×576 элементов длинноволнового ИК диапазона спектра. Измерены спектральные характеристики чувствительности для каждого из 576 каналов ФПУ. Результаты измерений граничной длины волны по четырем рядам МФЧЭ по 144 элемента каждый, показаны на рисунке 6.

Как видно из рисунка, распределение граничной длины волны имеет явный наклон вдоль и поперек матрицы фоточувствительных элементов размером 8078×994 мкм вследствие изменения состава по отдельным ФЧЭ. Граничная длина волны при среднем значении λ_{гр} = 10,45 мкм укладывается в диапазон ± 0,1 мкм. При этом в матрице имеются отдельные ФЧЭ, значения граничной длины волны λ_{гр} которых не входит в указанный диапазон, их число превышает 40 шт., что с

высокой вероятностью приведет к низкочастотным шумам, которые ухудшают качество изображения в оптико-электронных системах

на основе ГЭС КРТ ЖФЭ, возможное число шумящих элементов может составить $43/6/576 \approx 1,2\%$.

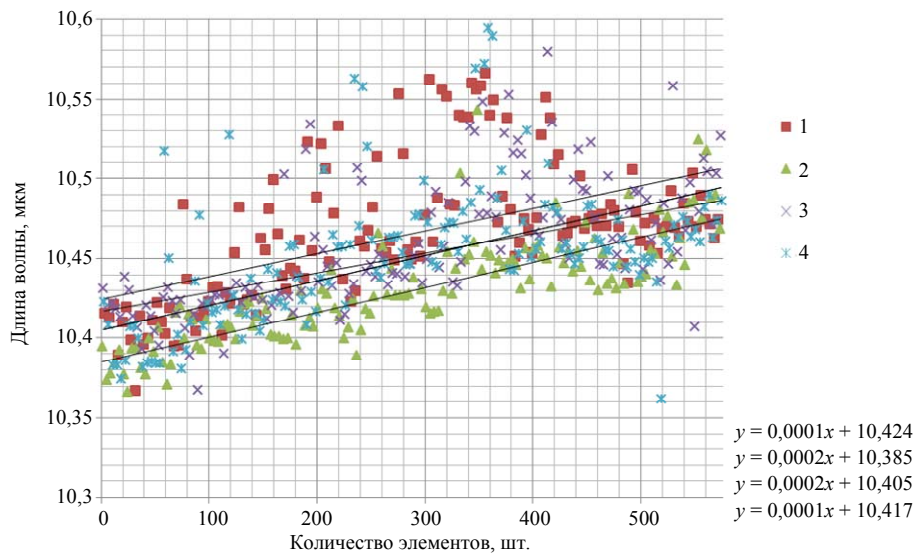


Рис. 6. Распределение граничной длины волны в МФЧЭ формата 6×576 длинноволнового ИК диапазона спектра

4. Заключение

Для практического использования ГЭС КРТ должны обладать строго определенным набором свойств, которые во многом обусловлены физическими и физико-химическими процессами, происходящими при выращивании и последующей термической обработке.

Основным общим требованием, предъявляемым к эпитаксиальным слоям ГЭС КРТ, пригодным для изготовления матричных фотоприемных модулей длинноволнового ИК диапазона спектра, является высокая однородность оптических и электрофизических параметров, которая определяется однородностью состава и структурным совершенством материала. Указанные свойства формируются на стадии выращивания эпитаксиальных слоев, и в значительной мере зависят от чистоты исходных компонентов, стабильности процесса выращивания, правильно выбранных соотношений исходных веществ и температуры подложки, физико-химических особенностей соединений CdTe-HgTe, а также от индивидуальных особенностей метода выращивания.

В качестве исходного материала для изготовления матриц фоточувствительных элементов, чувствительных в длинноволновом ИК диапазоне спектра, выбраны многослой-

ные гетероэпитаксиальные структуры HgCdTe с рабочими слоями заданного состава и качества, выращиваемые методами МЛЭ и ЖФЭ.

Достижение однородности состава порядка $\pm 0,002$ мол. дол. по площади МФЧЭ размером до 1 см^2 обеспечивает возможность создания полноформатных ФПУ с однородными спектральными характеристиками чувствительности у отдельных ФЧЭ с разбросом граничной длины волны до $0,1 \text{ мкм}$ в длинноволновом спектральном ИК-диапазоне $8\text{--}12 \text{ мкм}$.

Выявленное у отдельных ФЧЭ на основе структур ЖФЭ изменение состава и отклонение граничной длины волны вызывает неоднородность фоточувствительности и низкочастотные шумы, ухудшающие качество изображения в оптико-электронных системах на основе ГЭС КРТ ЖФЭ.

Достигнутая дефектность слоев ГЭС КРТ МЛЭ позволяет получить количество неработоспособных элементов менее $0,2\text{--}0,5\%$. При этом полученное высокое количество мелких поверхностных дефектов с размерами менее 1 мкм неминуемо приводит к токовым утечкам, а следовательно, к неоднородности вольтовой чувствительности отдельных ФЧЭ, что ухудшает качество изображения в оптико-электронных системах на основе ГЭС КРТ МЛЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rogalski A. Infrared detectors. – Taylor and Francis Group, LLC, 2011. ISBN 978-1-4200-7671-4.
2. Lei W., Antoszewski Ja., Faraone L. / Applied Physics Reviews. 2015. № 2. P. 041303.
3. Варавин В. С., Дворецкий С. А., Михайлов Н. Н., Ремесник В. Г., Сабина И. В., Сидоров Ю. Г., Швец В. А., Якушев М. В., Латышев А. В. / Автометрия. 2020. Т. 56. № 5. С. 12–26.
4. Arkun F. E., Edwall D. D., Ellsworth J., Douglas S., Zandian M., Carmody M. / Journal of Electronic Materials. 2017. doi: 10.1007/s11664-017-5441-9.
5. Reddy M., Jin X., Lofgreen D. D., Franklin J. A., Peterson J. M., Vang T., Juanko N., Torres F., Doyle K., Натрр А., Johnson S. M., Bangs J. W. / Journal of Electronic Materials. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11664-019-07246-y>.
6. Зверев А. В., Суляков А. О., Сабина И. В., Сидоров Г. Ю., Якушев М. В., Кузьмин В. Д., Варавин В. С., Ремесник В. Г., Макаров Ю. С., Предеин А. В., Гориков Д. В., Дворецкий С. А., Васильев В. В., Сидоров Ю. Г., Латышев А. В., Кремис И. И. / Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6. № 3. С. 224–230.
7. Varavin V. S., Sabinina I. V., Sidorov G. Yu., Marin D. V., Remesnik V. G., Predein A. V., Dvoretzky S. A., Vasilyev V. V., Sidorov Yu. G., Yakushev M. V., Latshev A. V. / Infrared Phys. Technol. 2020. Vol. 105. P. 103182. doi: 10.1016/j.infrared.2019.103182.
8. Denisov I. A., Lakeenkov V. M., Mazhorova O. S., Popov Yu. P. / J. Crystal Growth. 2002. Vol. 245. P. 21–30.
9. Войцеховский А. В., Дзядух С. М., Горн Д. И., Дворецкий С. А., Михайлов Н. Н., Сидоров Г. Ю., Якушев М. В. / Прикладная физика. 2024. № 5. С. 57–63.
10. Gravrand O., Rothman J., Castelein P., Cervera C., Baier N., Lobre C., De Borniol E., Zanatta J. P., Boulade O., Moreau V., Fieque B., Chorier P. / SPIE, Infrared Technology and Applications XLII, edited by Andresen Bjørn F., Fulop Gabor F., Hanson Charles M., Norton Paul R. Proc. of SPIE. 2016. Vol. 9819. P. 98191W.
11. Войцеховский А. В., Несмелов С. Н., Дзядух С. М., Васильев В. В., Варавин В. С., Дворецкий С. А., Михайлов Н. Н., Якушев М. В., Сидоров Г. Ю. / Прикладная физика. 2016. № 4. С. 83–86.
12. Selvig E., Tonheim C. R., Lorentzen T., Kongs-haug K. O., Skauli T., Haakennaasen R. / Journal of Electronic Materials. 2008. Vol. 37. № 9. P. 1444–1452.
13. Seiler D. G., Lowney J. R., Litter C. L., Loloee M. R. / J. Vac. Sci. Technol. 1990. Vol. A 8. P. 1237–1244.

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp, 85.60.Dw

Quality control of CdHgTe heteroepitaxial structures intended for long-wavelength IR photodetectors

N. I. Iakovleva¹, K. O. Boltar^{1,2}, R. V. Davletshin¹ and A. V. Nikonov^{1,2}

¹ RD&P Center ORION, JSC

9, Kosinskaya st., Moscow, 111538 Russia

² Moscow Institute of Physics and Technology

9, Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701 Russia

Received 20.02.2025; revised 4.03.2025; accepted 14.04.2025

The surface morphology and transmission spectra of heteroepitaxial structures (HES) based on a cadmium-mercury-tellurium (CdHgTe) alloys grown by molecular beam epitaxy (MBE) and liquid phase epitaxy (LPE) which intended for long-wavelength infrared (IR) photodetectors (8–12 microns) have been investigated. The nonuniformity of the spectral sensitivity responses for individual array elements (IAE) of 6×576 FPA formed in the CdHgTe HES grown by LPE has been studied. The FPAs should have a small variation of the cutoff wavelength and uniform spectral characteristics, that should be achieved by reducing the nonuniformity of the mole fraction x in CdHgTe absorbing layer to values less than 0.1 % over the photosensitive array.

Keywords: CdHgTe; heteroepitaxial structure; LWIR; transmission spectra; surface morphology.

REFERENCES

1. Rogalski A., Infrared detectors. Taylor and Francis Group, LLC, 2011. ISBN 978-1-4200-7671-4.
2. Lei W., Antoszewski Ja. and Faraone L., Applied Physics Reviews, № 2, 041303 (2015).
3. Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Mikhailov N. N., Remesnik V. G., Sabinina I. V., Sidorov Yu. G., Shvets V. A., Yakushev M. V. and Latyshev A. V., Autometry **56** (5), 12–26 (2020).
4. Arkun F. E., Edwall D. D., Ellsworth J., Douglas S., Zandian M. and Carmody M., Journal of Electronic Materials, (2017). doi: 10.1007/s11664-017-5441-9.
5. Reddy M., Jin X., Lofgreen D. D., Franklin J. A., Peterson J. M., Vang T., Juanko N., Torres F., Doyle K., Hampp A., Johnson S. M. and Bangs J. W., Journal of Electronic Materials, (2019). <https://doi.org/10.1007/s11664-019-07246-y>.
6. Zverev A. V., Suslyakov A. O., Sabinina I. V., Sidorov G. Yu., Yakushev M. V., Kuzmin V. D., Varavin V. S., Remesnik V. G., Makarov Yu. S., Predein A. V., Gorshkov D. V., Dvoretzky S. A., Vasilyev V. V., Sidorov Yu. G., Latyshev A. V. and Kremis I. I., Usp. Prikl. Fiz. (Advances in Applied Physics) **6** (3), 224230 (2018) [in Russian].
7. Varavin V. S., Sabinina I. V., Sidorov G. Yu., Marin D. V., Remesnik V. G., Predein A. V., Dvoretzky S. A., Vasil'ev V. V., Sidorov Yu. G., Yakushev M. V. and Latyshev A. V., Infrared Phys. Technol. **105**, 103182 (2020). doi: 10.1016/j.infrared.2019.103182.
8. Denisov I. A., Lakeenkov V. M., Mazhorova O. S. and Popov Yu. P., J. Crystal Growth **245**, 21–30 (2002).
9. Voitsekhovskii A. V., Dzyadukh S. M., Gorn D. I., Dvoretzky S. A., Mikhailov N. N., Sidorov G. Yu. and Yakushev M. V., Applied Physics, № 5, 54–63 (2024) [in Russian].
10. Gravrand O., Rothman J., Castelein P., Cervera C., Baier N., Lobre C., De Borniol E., Zanatta J. P., Boulade O., Moreau V., Fieque B. and Chorier P., SPIE, Infrared Technology and Applications XLII, edited by Andresen Bjørn F., Fulop Gabor F., Hanson Charles M., Norton Paul R., Proc. of SPIE **9819**, 98191W (2016).
11. Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., Dzyadukh S. M., Vasil'ev V. V., Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Mikhailov N. N., Yakushev M. V. and Sidorov G. Yu., Applied Physics, № 4, 83–86 (2016) [in Russian].
12. Selvig E., Tonheim C. R., Lorentzen T., Kongs- haug K. O., Skauli T. and Haakennaasen R., Journal of Electronic Materials **37** (9), 1444–1452 (2008).
13. Seiler D. G., Lowney J. R., Litter C. L. and Loe- loe M. R., J. Vac. Sci. Technol. **A 8**, 1237–1244 (1990).