

УТВЕРЖДАЮ

ВРИО директора

ФТИ им. А.Ф. Иоффе



С.В. Лебедев

4 мая 2018 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации Физико-технический институт им А.Ф. Иоффе
Российской академии наук на диссертационную работу А.Е Казаковой
«Исследование твердых растворов AlInGaPAs, выращенных на подложках
арсенида галлия и фосфида индия в поле температурного градиента»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
(специальность 01.04.07 - физика конденсированного состояния)

На отзыв представлена диссертационная работа, которая содержит
введение, четыре главы, основные выводы и список литературы из 103
наименований, изложена на 122 страницах и 28 рисунках.

Актуальность темы

Прогресс в области микро- и нанoeлектроники в значительной степени
определяется достижениями физики и технологии полупроводниковых
материалов. К перспективным материалам относятся, в частности,
полупроводниковые гетероструктуры на основе многокомпонентных твердых
растворов соединений $A^{III}B^V$. Интерес к ним вызван возможностью

формирования структурно совершенных гетеропереходов за счет одновременного согласования параметров решетки и коэффициентов термического расширения сопрягающихся материалов. Применение подобных микро- и наноструктур позволяет улучшить параметры оптоэлектронных приборов различного назначения.

Использование пятикомпонентных твердых растворов AlInGaPAs , выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия позволяет независимо регулировать ширину запрещенной зоны, период решетки, а также коэффициент термического расширения, что особенно важно для приборов, основанных на излучательной рекомбинации. В связи с этим диссертационная работа А.Е. Казаковой, посвященная исследованию твердых растворов AlInGaPAs , выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия, является весьма актуальной и своевременной.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертации Казаковой А.Е. заключается:

- впервые найдены термодинамические границы кристаллизации твердых растворов AlInGaPAs из жидкой фазы в поле температурного градиента на подложках фосфида индия и арсенида галлия, определяемые с одной стороны ограничениями по плавкости, а с другой – областью спинодального распада твердых растворов;

- впервые обнаружено влияние концентрации компонентов в твердом растворе AlInGaPAs на область их существования, ширину запрещенной зоны и пределы составов изопараметрических гетероструктур на их основе;

- исследованы закономерности роста твердых растворов AlInGaPAs на подложках InP и GaAs , позволяющие управлять характеристиками гетероструктур на их основе;

- выявлены основные параметры, определяющие качество поверхности,

кристаллическое совершенство и люминесцентные свойства гетероструктур $\text{AlInGaPAs/GaAs(InP)}$, позволяющие повысить характеристики фотоэлектрических преобразователей по сравнению с существующими InGaAs/GaAs(InP) ;

- впервые выполнены исследования влияния алюминия на внешний квантовый выход гетероструктур AlInGaPAs/InP .

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Полученные автором результаты исследований фазовых равновесий в пятикомпонентных системах $\text{Al-In-Ga-P-As (GaAs)(InP)}$, закономерности роста и свойств пятикомпонентных гетероструктур AlInGaPAs/GaAs и AlInGaPAs/InP могут пополнить научную базу физики полупроводников.

Разработана методика выращивания изопараметрических гетероструктур AlInGaPAs/GaAs и AlInGaPAs/InP перекрывающих спектральный диапазон от 0,59 до 1,74 мкм.

Предложена конструкция фотопреобразователя на основе гетероструктуры AlInGaPAs/InP .

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертационной работе результаты и выводы открывают принципиально новые перспективы для создания устройств твердотельной оптоэлектроники в широком спектральном диапазоне (от 0,59 до 1,74 мкм) на основе пятикомпонентных гетероструктур AlInGaPAs/GaAs , AlInGaPAs/InP .

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к использованию в МИСиС (Москва), ЗАО-НТ-МДТ (Зеленоград), ОИВТ РАН (Москва), ИМХ РАН (Нижний Новгород), НУЧ РАН (Черноголовка), ИФП СО РАН (Новосибирск), ЮНЦ РАН (Ростов-на-Дону), АО НПП «Радий» (Москва), АО НПФ «Экситон» (Ставрополь), АО НПП «Оптрон» (Ставрополь), АО «ВЗПП-Микрон» (Воронеж).

Практическое применение результатов работы продемонстрировано при выполнении государственного задания Минобрнауки на проведение НИР №16.4757.2017/8.9.

Обоснованность и достоверность полученных положений, выводов и заключений

Достоверность положений и выводов диссертационной работы подтверждается их отражением в четырех научных статьях, опубликованных в журналах из перечня, рекомендованных ВАК и четырех статьях индексируемых в Scopus и Web of Science. Результаты и выводы по работе докладывались на 6 международных и всероссийских научных конференциях. Достоверность результатов полученных в ходе диссертационного исследования подтверждается также: использованием современного оборудования при проведении измерений характеристик гетероструктур AlInGaPAs/GaAs(InP), современных и апробированных программ применяемых для прогнозирования параметров гетероструктур и их характеристик, согласованностью с результатами исследований других авторов.

Оценка содержания диссертации, ее достоверность в целом, замечания по оформлению

Диссертация Казаковой А.Е. является законченной научно-квалификационной работой. Основные положения, выносимые на защиту, а также новизна и значимость обоснованы и раскрыты полностью.

Диссертационная работа Казаковой Алёны Евгеньевны «Исследование твердых растворов AlInGaPAs, выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия в поле температурного градиента» соответствует паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, пунктам 1, 4, 5, 6.

Диссертация по своему содержанию, актуальности, задачам, научной новизне, практической и теоретической значимости соответствует критериям

«Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013.

Работа оформлена в соответствии с пунктом 24.1 Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и ГОСТом Р 7.011-2011.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации по своему содержанию полностью соответствует диссертационной работе «Исследование твердых растворов AlInGaPAs, выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия в поле температурного градиента».

Замечания по диссертационной работе

1. Из работы не ясно, какое совместное действие оказывает ограничение по плавкости и термодинамической неустойчивости твердых растворов AlInGaPAs на область их составов изопараметрическим подложкам арсенида галлия и фосфида индия. Также не определено влияние упругих напряжений на область действия указанных ограничений, что особенно необходимо при практической реализации гетероструктур AlInGaPAs/GaAs(InP) для фотопреобразователей и фотоприемников.

2. В работе нет анализа влияния погрешности технологического режима (воспроизведения и поддержания заданной температуры процесса) на состав, качество эпитаксиальных слоев и рассогласование периодов решеток подложек GaAs, InP и твердых растворов AlInGaPAs.

3. При исследовании структурного совершенства не выявлено влияние упругих напряжений на период решетки эпитаксиального слоя твердого раствора, что не дает возможности судить об эффекте стабилизации периода решетки в системах AlInGaPAs-GaAs, AlInGaPAs-InP наблюдаемых в соответствующих четверных системах.

4. К сожалению, в работе не анализируется влияние кристаллического

совершенства гетероструктур $\text{AlInGaPAs/GaAs(InP)}$ на характеристики фотоэлектрических преобразователей на их основе.

Данные замечания не снижают научной ценности исследований, полученных результатов и выводов.

Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Научная новизна, основные выводы, практическая и теоретическая значимость диссертационной работы опубликованы в 4 научных изданиях из перечня рекомендованных ВАК и четырех статьях индексируемых в Scopus и Web of Science, а также докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях. В общей сложности материалы диссертационной работы представлены в 15 научных трудах.

Заключение

Таким образом, диссертация Казаковой А.Е. является научно-квалификационной работой по актуальной тематике, в которой содержится решение задач, имеющих прикладное значение в развитии вопросов физики и технологии получения фотоактивных гетероструктур для фотоэлектрических преобразователей. Работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Отзыв составлен доктором технических наук, профессором, членом-корреспондентом РАН, заведующим лабораторией фотоэлектрических преобразователей Андреевым Вячеславом Михайловичем (место работы: Физико-технический институт им А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26, тел. +7-812-297-56-49,

e-mail: vmandreev@mail.ioffe.ru) и доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории фотоэлектрических преобразователей Хвостиковым Владимиром Петровичем (место работы: Физико-технический институт им А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26, тел. +7-812-292-79-24, e-mail: vlkhv@scell.ioffe.rssi.ru).

Диссертационная работа Казаковой А.Е. и отзыв о ней заслушаны и обсуждены на семинаре лаборатории фотоэлектрических преобразователей ФТИ им. А.Ф. Иоффе 3 мая 2018 года, протокол № 4.

Заведующий лабораторией
Фотоэлектрических преобразователей
д.т.н., профессор, лауреат Ленинской
и Государственной премий,
чл.-корр. РАН



Андреев Вячеслав Михайлович

Ведущий научный сотрудник,
д.ф.-м.н.



Хвостиков Владимир Петрович

Подписи Андреева В.М. и Хвостикова В.П. заверяю:



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26.

Телефон: (812) 297-2245, (812) 297-1017. E-mail: post@mail.ioffe.ru.