

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Казаковой Алёны Евгеньевны «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, по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертационного исследования.

Актуальность избранной соискателем темы не вызывает сомнений. Предметом исследования являются вопросы кристаллизации и свойства изопараметрических твердых растворов AlInGaPAs, выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия. Трудности, сопутствующие использованию различных соединений $A^{III}B^V$, часто плохо совместимых по кристаллическим характеристикам, автор решает, используя преимущества процесса градиентной эпитаксии многокомпонентных, в частности, пятикомпонентных твердых растворов-расплавов.

Вопросы теории и техники кристаллизации многокомпонентных полупроводников в поле температурного градиента, исследованные автором для получения изопараметрических гетероструктур AlInGaPAs/GaAs(InP), представляют значительный интерес как с теоретической (новые данные по кинетике фазовых переходов I-рода в пятикомпонентных системах), так и с практической (возможность получения новых оптоэлектронных устройств, в первую очередь, солнечных элементов и фотоприемников) точек зрения.

В силу вышеупомянутого актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Общая характеристика работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и списка литературы из 103 наименований. Общий объем диссертации составляет 122 страницы, включая 13 таблиц и 28 рисунков.

В первой главе содержится литературный обзор по синтезу и свойствам многокомпонентных твердых растворов на основе соединений $A^{III}B^V$. На основе анализа литературы сформулирована цель и задачи исследований процессов эпитаксии пятикомпонентных твердых растворов AlInGaPAs на подложках GaAs и InP. Вторая глава посвящена расчетам условий физико-химических равновесий и параметров пятикомпонентных твердых растворов, согласованных с подложкой по постоянной решетки и коэффициенту термического расширения. В третьей главе рассмотрены технологические особенности зонной перекристаллизации в градиенте температуры и кинетика роста твердых растворов AlInGaPAs. В четвертой

главе описаны результаты экспериментальных исследований свойств твердых растворов AlInGaPAs , выращенных на подложках GaAs и InP .

К числу наиболее интересных результатов можно отнести следующее:

1. Определены термодинамические возможности синтеза из жидкой фазы твердых растворов AlInGaPAs , изопериодных GaAs и InP , лимитированных с одной стороны распадом твердых растворов, а с другой – ограничением по плавкости.

2. Предложена методика расчета фазовых равновесий в пятикомпонентных изоморфных системах, основанных на парной аппроксимации квазихимического приближения регулярных растворов.

3. Получены зависимости условий роста пленок в градиентном поле из жидкой фазы изопериодных твердых растворов AlInGaPAs на подложках GaAs и InP от технологических параметров.

4. Выявлено влияние концентрации компонентов твердого раствора AlInGaPAs на кристаллическое совершенство, качество поверхности, люминесцентные свойства и внешний квантовый выход гетероструктур $\text{AlInGaPAs/GaAs(InP)}$.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обусловлена наличием системы калибровки измерительных устройств и подтверждена при отработке методик на известных физических моделях полупроводниковых материалов и структур, а также использованием общепринятых моделей и совпадением экспериментальных и расчетных результатов работы с данными, опубликованными в литературе.

Научная новизна исследований научная и практическая значимость результатов диссертационной работы.

Научная новизна работы заключается в получении ряда новых теоретических сведений о процессе кристаллизации изопериодных пятикомпонентных гетероструктур AlInGaPAs/GaAs , AlInGaPAs/InP и исследовании термодинамических, структурных и люминесцентных свойств пятикомпонентных твердых растворов.

Значимость результатов исследований для науки заключается в том, что теоретические выводы по термодинамическим свойствам исследуемых пятикомпонентных систем, а также кинетические закономерности роста эпитаксиальных слоев твердых растворов AlInGaPAs на подложках GaAs и InP из расплава в поле температурного градиента позволяют определить область составов и условия формирования эффективных оптоэлектронных гетероструктур ИК-диапазона с заданными свойствами.

Практическое значение результатов определяется тем, что они могут быть применены для разработки промышленной технологии получения изопараметрических твердых растворов соединений $A^{III}B^V$. В диссертации также представлена конструкция фотопреобразователя на основе гетероструктуры $AlInGaPAs/InP$ с расчетным КПД=46%.

Полнота опубликования основных результатов работы в научной печати и соответствие автореферата диссертации

Результаты исследований представлены в 15 работах, в том числе 8 опубликованы в ведущих журналах и доложены на 6 международных конференциях, одна глава – в коллективной монографии. Опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

Автореферат содержит краткое изложение всех основных научных положений и выводов диссертационной работы.

Замечания по диссертации.

1. Проблема обеспечения необходимого состава и требуемого распределения компонентов в эпитаксиальных слоях многокомпонентных твердых растворах $A^{III}B^V$ занимает в последнее время центральное место во многих экспериментальных работах. Как автор решает эту проблему для твердых растворов, изопериодных к подложкам GaAs и InP?

2. При исследовании морфологии поверхности эпитаксиальных слоев $AlInGaPAs$, выращенных на подложках GaAs и InP, нет сведений о влиянии степени разориентации подложки на шероховатость слоев.

3. Для пятикомпонентных гетероструктур $AlInGaPAs/GaAs(InP)$ $\Delta a/a$ может быть, как положительной, так и отрицательной величиной, вследствие чего гетероструктура испытывает или сжатие, или растяжение. Как автором этот факт учитывается при планировании эксперимента?

4. В работе приводятся только исследования фотolumинесценции (ФЛ) однородных по составу и нелегированных гетероструктур $AlInGaPAs/GaAs(InP)$. А каковы спектры ФЛ будут для варизонных и легированных гетероструктур? К сожалению, в работе таких результатов нет, а такие исследования особенно необходимы при изготовлении фотоприемников.

5. При оформлении рисунков нет единообразия, толщина слоев в одном случае обозначена h (рис. 2.5, 2.6, и 4.3), а в другом d (рис. 4.1 и 4.2).

Однако указанные замечания не влияют на основные результаты и выводы диссертации и не снижают ее ценности.

Заключение.

Диссертационная работа Казаковой А.Е. «Исследование твердых растворов $AlInGaPAs$, выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия в поле температурного градиента» является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, а полученные в

ходе ее выполнения результаты имеют важное значение для развития физики конденсированного состояния в области исследования роста и свойств многокомпонентных полупроводников.

Считаю что диссертационная работа «Исследование твердых растворов AlInGaPAs, выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия в поле температурного градиента» соответствует требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Казакова Алёна Евгеньевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Заведующий кафедрой
полупроводниковой электроники
и наноэлектроники Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
«Воронежский государственный
технический университет»,
заслуженный деятель науки РФ,
доктор физико-математических
наук, профессор



Рембеза
Станислав Иванович

«__» _____ 2018 г.

Проректор по научной
работе
ФГБОУ ВО «ВГТУ»



Дроздов
Игорь Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Воронежский государственный
технический университет»,

394026, г. Воронеж, Московский проспект, 179. тел 8(4732) 43-76-95,
rembeza@yandex.ru