

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Казаковой Алёны Евгеньевны
«Исследование твёрдых растворов AlInGaPAs , выращенных на подложках
арсенида галлия и фосфида индия в поле температурного градиента»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико–математических наук
по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Исследование твёрдых растворов, выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия, важны для развития *приборостроения*. В настоящее время для создания приборов, основанных на излучательной рекомбинации, используют гетероструктуры на основе твёрдых растворов соединений $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$. Преимущество четырёхкомпонентных твёрдых растворов перед растворами трёхкомпонентными состоит в сохранении периода кристаллической решётки при изменении ширины запрещённой зоны. Однако и они имеют серьёзный недостаток – рассогласование коэффициентов термического расширения подложки и кристаллизуемого слоя. Для создания гетероструктуры, согласованной по периоду кристаллической решётки и коэффициентов термического расширения, нужен переход к *пятикомпонентным твёрдым растворам*.

Использование пятикомпонентных AlInGaPAs , выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия, позволяет регулировать ширину запрещённой зоны, период решётки и период кристаллической решётки, что важно для построения электронных приборов, основанных на излучательной рекомбинации.

В связи с вышесказанным, тема кандидатской диссертации Казаковой Алёны Евгеньевны представляет теоретический и практический интерес для развития приборостроения, и является *своевременной* и *актуальной*.

Целью диссертационных исследований является установление основных физических закономерностей и технологических особенностей выращивания твёрдых растворов AlInGaPAs , выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия, а также исследование их основных свойств.

Для достижения цели поставлены *следующие задачи*:

- Теоретический анализ фазовых равновесий в системах $\text{AlInGaPAs} - \text{GaAs}$ и $\text{AlInGaPAs} - \text{InP}$ (пятикомпонентный твёрдый раствор – изучаемая подложка).
- Расчёт основных параметров пятикомпонентных твёрдых растворов AlInGaPAs , изопараметрических к подложкам InP и GaAs .
- Выращивание твёрдых растворов AlInGaPAs на подложках InP и GaAs методом зонной перекристаллизации в поле температурного градиента.
- Исследование кинетики роста твёрдых растворов AlInGaPAs на подложках арсенида галлия и фосфида индия.
- Исследование влияния состава пятикомпонентного твёрдого раствора на структурное совершенство гетероструктур $\text{AlInGaPAs}/\text{GaAs}$ и $\text{AlInGaPAs}/\text{InP}$.
- Исследование спектров фотолюминесценции пятикомпонентных гетероструктур $\text{AlInGaPAs}/\text{GaAs}$ и $\text{AlInGaPAs}/\text{InP}$.
- Исследование возможности применения гетероструктур $\text{AlInGaPAs}/\text{InP}$ в качестве высокоэффективных фотоэлектрических преобразователей.

Научная новизна представленных исследований состоит в следующем:

- Впервые найдены термодинамические границы кристаллизации твёрдых растворов AlInGaPAs из жидкой фазы в поле температурного градиента на подложках фосфида индия и арсенида галлия, определяемые ограничениями по плавкости и областью спинодального распада твёрдых растворов.
- Впервые обнаружено влияние концентрации компонентов в твёрдом растворе AlInGaPAs на область их существования, ширину запрещённой зоны и пределы составов изопараметрических структур на их основе.
- Впервые исследованы закономерности роста твёрдых растворов AlInGaPAs на подложках InP/GaAs , позволяющие управлять характеристиками гетероструктур.
- Выявлены параметры, определяющие качество поверхности, кристаллическое совершенство и люминесцентные гетероструктур $\text{AlInGaPAs}/\text{GaAs}(\text{InP})$, что позволяет повысить характеристики фотоэлектрических преобразователей по сравнению с трёхкомпонентными твёрдыми растворами $\text{InGaAs}/\text{GaAs}(\text{InP})$.
- Впервые выполнены исследования влияния алюминия на внешний квантовый выход гетероструктур на подложке фосфида индия $\text{AlInGaPAs}/\text{InP}$.

Автором получены и **выносятся на защиту** следующие результаты:

- На основе расчётов гетерофазных равновесий в пятикомпонентных системах на базе парной аппроксимации квазихимического приближения регулярных растворов, определены области термодинамической устойчивости твёрдых растворов AlInGaAsP (GaAs , InP), пределы составов и температуры доступных для выращивания изопериодических гетероструктур $\text{AlInGaPAs}/\text{GaAs}$ (InP).
- Установлено, что метод зонной перекристаллизации в поле температурного градиента позволяет выращивать изопериодические однородные и варизонные твёрдые растворы $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}_z\text{As}_{1-z}$ на подложках GaAs .
- Исследование кинетики роста твёрдых растворов AlInGaPAs на подложках GaAs и InP показали, что скорость роста зависит от толщины зоны, состава, температуры и её градиента. Обнаружено, что скорость роста твёрдых растворов AlInGaPAs на подложках GaAs и InP уменьшается с ростом концентрации алюминия для всех толщин жидкой зоны, за счёт уменьшения коэффициента диффузии в многокомпонентной жидкой фазе кристаллизации.
- Теоретически и экспериментально изучено распределение компонентов в твёрдых растворах AlInGaAsP (GaAs , InP). Обнаружено, что с увеличением концентрации индия в твёрдом растворе AlInGaPAs значения коэффициентов распределения для фосфора и мышьяка уменьшаются, а значения этих же коэффициентов распределения для индия и алюминия увеличиваются.
- Изучены кристаллическое совершенство и качество поверхности твёрдых растворов AlInGaPAs , выращенных на подложках GaAs и InP . Получены и объяснены зависимости кристаллического совершенства и шероховатости поверхности твёрдых растворов AlInGaPAs от технологических параметров метода ЗПГТ – толщины и состава жидкой зоны, температуры и её градиента.
- Исследования люминесцентных свойств твёрдых растворов $\text{AlInGaPAs}(\text{GaAs}, \text{InP})$ показали, что переход к пятикомпонентным твёрдым растворам приводит к увеличению интенсивности и уменьшению ширины полосы излучения на половине высоты пиков, что указывает на более высокое кристаллическое совершенство.
- Проведено моделирование процесса влияния концентрации алюминия на внешний квантовый выход гетероструктуры $\text{AlInGaAsP}/\text{InP}$.

По теме диссертационных исследований опубликовано 15 научных работ, из которых – 4 в журналах, индексируемых в БД Scopus и Web of Science, 4 – в журналах, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК, 6 – в трудах различных международных конференций, 1 глава – в коллективной монографии.

Существенных **недостатков** в автореферате диссертации мною не обнаружено.

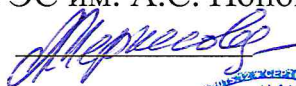
Диссертационная работа **Казаковой Алёны Евгеньевны**, представленная на соискание учёной степени кандидата физико–математических наук, является научно–квалификационной работой, вполне соответствующей паспорту научной специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Работа полностью отвечает требованиям Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертационной работы, **Казакова Алёна Евгеньевна**, несомненно, заслуживает присуждения ей учёной степени **кандидата физико–математических** наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Доктор физико–математических наук,
(Научная специальность: 01.04.03 – Радиофизика),
профессор кафедр «Математика и информатика»
и «Кибербезопасность информационных систем»
факультета «Информатика и вычислительная техника»
Донского государственного технического университета,
Член–корреспондент Международной Академии Наук

Прикладной радиоэлектроники (АН ПРЭ),
Член–корреспондент Российской Академии Естествознания (РАЕ),
Член–корреспондент Российской Академии Изучения Проблем
Национальной Безопасности (РАН ИП НБ),

Почётный доктор Международной Академии наук Естественной Истории,
(Doctor of Science, HONORIS CAUSA of International Academy of Natural History),
Заслуженный деятель науки и образования (РАЕ),
Заслуженный деятель науки и техники (РАЕ),
Член IEEE, МТТ, РНТОРЭС им. А.С. Попова



Черкесова Лариса Владимировна

11 июня 2018 г.

Подпись Черкесовой Ларисы Владимировны заверяю:

Учёный секретарь Учёного совета ДГТУ

В.Н. Анисимов

11 июня 2018 г.

Сведения о лице, предоставившем отзыв на диссертацию:

Место работы: ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
344000, Россия, город Ростов–на–Дону, площадь Гагарина, здание 1;

Кафедра «Математика и информатика», служебный телефон (863) 273–85–14.

Кафедра «Кибербезопасность информационных систем» – (863) 273–27–16.

Почтовый адрес: 346411, Ростовская область, город Новочеркасск, 11;

улица Будёновская, дом 95, квартира 46.

Телефоны: домашний 8 (863–52) 4–04–23; мобильный 8–951–504–65–56;

Электронный адрес: E–mail: chia2002@inbox.ru