

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию работу А.Е Казаковой
«Исследование твердых растворов AlInGaPAs, выращенных на подложках
арсенида галлия и фосфида индия в поле температурного градиента»
(специальность 01.04.07 - физика конденсированного состояния)

Актуальность темы диссертационного исследования

Исследование физики и технологии полупроводниковых структур тесно связано с фундаментальной проблемой физики конденсированного состояния – исследования влияния условий кристаллизации многокомпонентных твердых растворов на свойства формируемой элементарной базы приборов электронной техники.

Закономерности кристаллизации твердых растворов AlInGaPAs на подложках арсенида галлия и фосфида индия, установленные автором работы, открывают новые перспективы физики полупроводников и электроники за счет разработки новых технологий. К новым важным материалам оптоэлектроники относятся, в частности, полупроводниковые гетероструктуры на основе пятикомпонентных твердых растворов $A^{III}B^V$. Интерес к ним вызван возможностью формирования структурно совершенных гетеропереходов за счет одновременного согласования параметров решетки и коэффициентов термического расширения сопрягающихся материалов и возможностью формирования гетероструктур на их основе. Применение подобных гетероструктур позволяет улучшить параметры оптоэлектронных приборов самого различного назначения.

Учитывая выше изложенное, считаю диссертационную работу Казаковой А.Е. актуальной как с научной, так и с практической точки зрения.

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

Высокий уровень работы обеспечен обоснованностью сделанных допущений, принимаемых при теоретическом анализе фазовых равновесий в системах AlInGaPAs-GaAs(InP), корректным использованием аналитических и численных методов расчета основных параметров твердых растворов AlInGaPAs изопараметрических к подложкам GaAs и InP, наличием системы калибровки измерительных устройств и тщательным исполнением расчетов и экспериментов.

Достоверность полученных результатов диссертационного исследования подтверждается использованием современного сертифицированного оборудования, совпадением экспериментальных и

расчетных результатов в работе, а также данными, опубликованными в литературе.

Научная новизна исследований и практическая значимость результатов диссертационной работы

Научная новизна исследований заключается в следующем:

- впервые выявлены ограничения по плавкости и области спинодального распада твердых растворов AlInGaPAs, выращенных из жидкой фазы в поле температурного градиента на подложках арсенида галлия и фосфида индия;
- впервые обнаружено влияние концентрации компонентов в твердом растворе AlInGaPAs на область их существования, ширину запрещенной зоны и пределы составов изопараметрических гетероструктур AlInGaPAs/GaAs и AlInGaPAs/InP на их основе;
- впервые выявлены физические закономерности и особенности жидкофазной кристаллизации в поле температурного градиента твердых растворов AlInGaPAs на подложках GaAs и InP;
- определены основные технологические параметры выращивания гетероструктур AlInGaPAs/GaAs и AlInGaPAs/InP с высоким кристаллическим совершенством;
- впервые выполнены исследования влияния алюминия на внешний квантовый выход гетероструктур AlInGaPAs/InP.

Практическая значимость

- предложен способ выращивания изопараметрических твердых растворов AlInGaPAs на подложках GaAs и InP с контролируемыми параметрами;
- предложена конструкция фотопреобразователя на основе AlInGaPAs/InP с КПД=46%.

Оценка содержания диссертации

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

Результаты диссертационного исследования отражены в 4 журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science, 4 журналах входящих в список изданий, рекомендованных ВАК, 6 докладах опубликованных в сборниках трудов международных конференций, в одной главе в коллективной монографии.

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

Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы и воспроизводимость экспериментальных результатов

Из анализа обзора литературных данных по тематике работы, приведенного списка литературы и полноты представленных в нем авторов следует, что задачи диссертации и основные научные положения и выводы работы сформулированы автором самостоятельно. Теоретические и экспериментальные исследования выполнены автором лично или при его непосредственном участии. Методики, представленные в работе, изложены ясно и последовательно, что позволяет воспроизводить авторские исследования в других лабораториях.

Замечания по диссертации

1. Не исследовано влияние кристаллографической ориентации подложек GaAs и InP на скорость роста, состав и свойства твердых растворов AlInGaPAs. Учет ориентационного эффекта при кристаллизации из растворов-расплавов необходим при моделировании кристаллизационных процессов и прогнозировании характеристик гетероструктур.

2. В работе исследуются процессы кристаллизации твердого раствора AlInGaPAs на подложках GaAs и InP из жидкой фазы. Какие требования необходимо учитывать при выборе материала – растворителя и возможно ли в обеих системах использовать один и тот же металл – растворитель? Какие существуют критерии к формированию состава жидкой зоны?

3. В чем состоит методика определения коэффициентов распределения компонентов, учитывается ли при этом летучесть P и As? Если да, то как? А если нет, то нельзя говорить о корректности концентрационных зависимостей коэффициентов распределения компонентов (рис. 2.4).

4. В работе установлено влияние концентрации алюминия на внешний квантовый выход гетероструктуры AlInGaPAs/InP, а как влияют другие компоненты твердого раствора?

5. В исследуемых зависимостях скорости роста AlInGaPAs на подложках GaAs и InP необходим учет испарения не только As, но и P.

6. На рис. 3.3, а, б, в, скорость имеет размерность мкм/час, на рис. 3.3 г – см/сек, что затрудняет проведение сравнения скоростей при различных технологических режимах.

Однако, указанные замечания не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертации и не снижает ее ценности.

Заключение

Диссертационная работа Казаковой А.Е. «Исследование твердых растворов AlInGaPAs, выращенных на подложках арсенида галлия и фосфида индия в поле температурного градиента» содержит новые научные

положения, совокупность которых отражает современный уровень развития теории кристаллизации многокомпонентных полупроводниковых гетероструктур и представляет интерес для физиков и технологов, работающих в области разработки элементной базы фотоэлектрических преобразователей видимого и инфракрасного диапазонов спектра.

Диссертацию можно охарактеризовать как завершённую научно-квалификационную работу, в которой изложено решение научной проблемы, имеющей существенное значение для развития физики кристаллизации многокомпонентных гетероструктур для приборов оптоэлектроники.

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.

Официальный оппонент,
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор,
директор института нанотехнологий
в электронике, спинтронике
и фотонике НИЯУ «МИФИ»



Каргин Николай Иванович

Подпись Каргина Н.И. заверяю:



Александр Иванович Сергеев