

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Д.А. Арустамяна “Кристаллизация и свойства гетероструктур InGaPAs/GaAs (InP), GaP/Si, AlGaAs/Si для фотоэлектрических преобразователей”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 01.04.07 - физика конденсированного состояния)

Актуальность темы.

Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию физических закономерностей и особенностей кристаллизации многокомпонентных твердых растворов соединений A³B⁵ на подложках арсенида галлия, фосфида индия и кремния. В последние десятилетия наблюдается возрастающий интерес к многокомпонентным гетероструктурам на основе соединений A³B⁵, свойства которых значительно отличаются от простых гетероструктур, например, Si-Ge. Такие гетероструктуры, в основном получают газофазной эпитаксией из металлоорганических соединений (МОС ГФЭ). Диссертант предложил альтернативные способы кристаллизации многокомпонентных гетероструктур, которые являются относительно простыми и незатратными методами изготовления гетероструктур для фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Кроме того, предложенные гетероструктуры на основе твердых растворов соединений A³B⁵ для ФЭП существенно расширяют спектральный диапазон ИК- области спектра и повышают функциональные характеристики.

В этом плане тема рецензируемой диссертации представляется безусловно актуальной и имеющей важную научную значимость и практическую ценность.

Новизна научных результатов.

В работе предложены три способа выращивания гетероструктур InGaPAs/GaAs (InP), GaP/Si, AlGaAs/Si и исследованы основные физические закономерности и особенности их кристаллизации.

К основным новым научным результатам диссертации можно отнести:

- Впервые получены экспериментальные зависимости и выявлены особенности процесса жидкофазной, лазерной и ионно-лучевой кристаллизации гетероструктур на основе твердых растворов соединений A³B⁵.

- Получены методом ИЛК наногетероструктуры InGaAs/GaAs для фотопреобразователей с промежуточной подзоной.

- Впервые обнаружен и объяснен эффект влияния концентрации наночастиц серебра в функциональных покрытиях TiO₂-Ag на характеристики каскадных фотопреобразователей.

- Получены новые экспериментальные результаты по созданию *p-n*-перехода внутри *p*-Si при нанесение нанослоев GaP и AlGaAs методом лазерной кристаллизации.

Практическая значимость результатов.

- Предложен и реализован способ жидкофазной кристаллизации гетероструктур InGaPAs/GaAs(InP) для высокоэффективных ФЭП.

- Предложен способ изготовления ФЭП на основе наноструктур InGaAs/GaAs с промежуточной подзоной.

- Впервые предложен процесс изготовления ФЭП на основе гетероструктур GaP/Si и AlGaAs/Si.

- Впервые предложен способ повышения КПД и внешнего квантового выхода путем внедрения наночастиц серебра в функциональные покрытия каскадных ФЭП.

Оценка содержания диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и списка литературы из 106 наименований. Общий объем диссертационной работы 121 страница, включая 53 рисунка.

Результаты исследований представлены в 15 статьях, в том числе 6, опубликованных в ведущих научных журналах и доложены на 7 международных и всероссийских конференциях. Опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации. Результаты исследований были использованы при выполнении научно-исследовательских работ как фундаментального и прикладного характера, а также при выполнении госзадания Минобрнауки РФ на проведение НИОКР № 16.4757.2017/8.9.

Личный вклад автора состоял в разработке концептуальных подходов, выполнение моделирования и расчётов электрофизических характеристик ФЭП, непосредственном проведении экспериментов экспериментальных исследований, обработки, анализе и обобщении полученных результатов.

Положения, выносимые на защиту и составляющие научную новизну получены лично автором.

Автореферат содержит краткое изложение всех основных положений диссертационной работы.

Обоснованность и достоверность.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выносимых на защиту научных положений диссертационной работы обусловлено тем, что они получены с использованием апробированных методик исследования и применением современного и адекватного математического аппарата при моделировании в ФЭП, а также согласованностью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Замечания по диссертационной работе.

1. В главе 1 нет сравнительного анализа дефектообразования в тройных гетероструктурах с четверными, хотя в выводах первой главы стр. 32-33 дается заключение о преимуществах 4-х перед 3-х компонентными гетероструктурами. А ведь кристаллическое совершенство является главным фактором повышения функциональных характеристик (внешний квантовый выход, КПД и т.д.).

2. При моделировании основных зависимостей фотоэлектрических характеристик гл. 2 не учитывается наличие дефектов и внутренних напряжений возникающих в гетероструктурах, что приводит к значительному расхождению теоретических от экспериментальных зависимостей (гл. 4 п. 4.3 рис. 4.15 - 4.16).

3. В 3-й главе п. 3.1.2 при подготовке подложек для жидкофазной кристаллизации эпитаксиальных слоев приводятся два травителя и непонятно какой из них применяется для GaAs и InP. Вообще говоря, при подготовке подложек из GaAs и InP используется одна методика, но разные травители, температурные и временные параметры.

4. На зависимостях характеристик ФЭП от состава приводится концентрация As (рис. 2.2, 2.4) и не поясняется, толи молярные, толи атомные доли. А этот фактор очень важен для технологов, планирующих эксперимент по выращиванию гетероструктур.

Отмеченные замечания не затрагивают основных научных положений работы и не влияют на ее высокую оценку в целом.

Заключение.

Диссертационная работа Арустамяна Д.А. изложена грамотно и доказательно, ее научное содержание и стиль изложения соответствует современному международному уровню исследований в области физики конденсированного состояния. Диссертацию можно охарактеризовать как законченную научно-квалификационную работу, в которой изложено решение научной проблемы, имеющей существенное значение для развития

физики и технологий гетероструктур для фотоэлектрических преобразователей нового поколения.

Считаю что диссертационная работа “Кристаллизация и свойства гетероструктур InGaPAs/GaAs (InP), GaP/Si, AlGaAs/Si для фотоэлектрических преобразователей” соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Арустамян Давид Арсенович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент-
доктор физико-математических наук,
профессор, Лауреат Государственной
премии РФ в области науки и техники,
Вице-президент АО «НПП «Радий»

A handwritten signature in blue ink is written over a circular official stamp. The stamp is blue and contains the following text: "АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ» «РАДИЙ»" around the top edge, "АО «НПП «Радий»" in the center, "ИНН 7700133741" on the right side, and "*М.П.*" and "*МОСКВА*" at the bottom.

БАВИЖЕВ Михаил Данильевич

Акционерное общество
“Научно-производственное
предприятие” “Радий”
1253, г. Москва, ул. Часовая, д.28,
тел. +7 495 151-49-67,
e-mail:bavizhev@yahoo.com
<http://www.npp-radiy.ru>