

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной работе

ФТИ имени А.Ф. Иоффе РАН



[Signature]
С.В.Лебедев

23.10. 2017 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации Физико-технический институт им А.Ф. Иоффе Российской академии наук на диссертационную работу Д.А. Арустамяна “Кристаллизация и свойства гетероструктур InGaPAs/GaAs (InP), GaP/Si, AlGaAs/Si для фотоэлектрических преобразователей”, 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 106 наименований, изложена на 121 странице и 53 рисунках

Актуальность темы

Развитие современной фотовольтаики во многом обусловлено успехами в разработке и использовании новых физических принципов, технологий материалов и конструкций для создания конкурентоспособных фотоэлектрических преобразователей энергии (ФЭП). Современные подходы к повышению КПД связаны с использованием концентрированного солнечного излучения и каскадных гетероструктур, а также солнечных элементов (СЭ) третьего поколения с квантовыми точками (КТ).

[Signature]

Использование гетероструктур на основе твердых растворов InGaPAs изопериодных к подложкам GaAs и InP для ФЭП позволяет расширить спектральный от 0,4 до 2,0 микрометров. Квантоворазмерные гетероструктуры существенно расширяют диапазон ИК области спектра.

Основной технологией производства гетероструктур на основе кремния и твердых растворов соединений A^3B^5 являются дорогостоящие и сложные методы молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) и газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений (МОСГФЭ). Поэтому необходим поиск альтернативных методов получения СЭ. Диссертант предложил использовать относительно простые и незатратные методы изготовления гетероструктур для ФЭП: жидкофазная кристаллизация в поле температурного градиента (ЖКТГ), ионно-лучевая кристаллизация (ИЛК), лазерная кристаллизация (ЛК). В этом контексте диссертационная работа Д.А.Арустамяна, посвященная изучению основных физических закономерностей и особенностей кристаллизации гетероструктур InGaPAs/GaAs (InP), GaP/Si, AlGaAs/Si для ФЭП, и является актуальной и своевременной для развития фотовольтаики.

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

Научная новизна диссертации Арустамяна Д. А. заключается:

- впервые получены физические закономерности и выявлены особенности процессов кристаллизации (ЖКТГ, ИЛК и ЛК) гетероструктур InGaPAs/GaAs (InP), GaP/Si, AlGaAs/Si для ФЭП;
- методом ионно-лучевой кристаллизации получены наногетероструктуры InGaAs/GaAs для ФЭП с промежуточной подзоной;
- впервые обнаружен эффект влияния концентрации наночастиц серебра в функциональных покрытиях TiO_2 -Ag на характеристики ФЭП GaInP/GaAs/Ge.
- впервые методом лазерной кристаллизации в едином технологическом цикле выращены наногетероструктуры n-GaP/p-Si и n-

AlGaAs/p-Si для ФЭП с внешним квантовым выходом $\sim 0,7$ в спектральном диапазоне 400-950 нм.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Автором предложены и реализованы способы:

- кристаллизации гетероструктур InGaPAs/GaAs InGaPAs/InP из жидкой фазы в поле температурного градиента для высокоэффективных фотоэлектрических преобразователей в спектральном диапазоне 300-1100 нм.

- ионно-лучевой кристаллизации островковых наногетероструктур InGaAs/GaAs для ФЭП с промежуточной подзоной.

- лазерной кристаллизации наногетероструктур n-GaP/p-Si и n-AlGaAs/p-Si для ФЭП внешним квантовым выходом примерно 70% в спектральном диапазоне от 400 до 950 нм.

Исходя из содержания работы, можно сделать вывод, что предложенные методы являются более доступной и дешевой альтернативой существующих МЛЭ и МОСГФЭ. Полученные структуры обладают высокими функциональными характеристиками и по рабочим параметрам удовлетворяют требованиям, предъявляемым ФЭП нового поколения.

Автором предложены и разработаны модели гетероструктур, позволяющие выявить основные зависимости фотоэлектрических характеристик гетероструктур AlGaAs/InGaPAs/GaAs и AlAsSb/GaInPAs/InP от состава, толщины и легирования фотоактивного слоя.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертационной работе результаты и выводы определяют направление развития промышленной технологии получения фотоактивных гетероструктур для нового поколения фотопреобразователей предложенными методиками ЖКТГ, ИЛК и ЛК. Высокий интерес представляют результаты получения наноструктур InGaAs/GaAs с массивом квантовых точек и лазерная кристаллизация гетероструктур GaP/Si и

AlGaAs/Si. Особенно хочется подчеркнуть практическую значимость повышения внешнего квантового выхода и КПД каскадных ФЭП путем использования функциональных покрытий TiO₂-Ag.

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 НИОКР №16.4757.2017/8.9.

Обоснованность и достоверность полученных положений, выводов и заключений

Достоверность положений и выводов диссертационной работы подтверждается их отражением в 6 научных статьях, опубликованных в журналах из перечня, рекомендованных ВАК (2 из них индексируются в Scopus и Web of Science). Результаты и выводы по работе докладывались на 7 международных и всероссийских научных конференциях. Достоверность результатов полученных в ходе диссертационного исследования подтверждается также: использованием современного оборудования при проведении измерений характеристик ФЭП, современных и апробированных программ применяемых для прогнозирования параметров гетероструктур и характеристик ФЭП, согласованностью с результатами исследований других авторов.

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

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

Диссертационная работа Арустамяна Давида Арсеновича «Кристаллизация и свойства гетероструктур InGaPAs/GaAs (InP), GaP/Si, AlGaAs/Si для фотоэлектрических преобразователей» соответствует паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния пунктам 1, 2, 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 «Кристаллизация и свойства гетероструктур InGaPAs/GaAs (InP)».

Замечания по диссертационной работе

1. В работе не представлено обоснование выбора численных методов используемых автором при моделировании фотоактивных гетероструктур InGaPAs/GaAs (InP), GaP/Si, AlGaAs/Si. Не анализируется корректность расчета ширины запрещенной зоны для четырехкомпонентного твердого раствора InGaPAs.

2. Глубоко не исследованы особенности кинетики роста эпитаксиальных слоев InGaPAs на подложках GaAs и InP, которые необходимы для контролируемого роста и качества поверхности гетероструктур.

3. К сожалению, не приводятся данные о совершенстве гетероструктур и его влияния на характеристики фотоэлектрических преобразователей на их основе.

Данные замечания не снижают научной ценности исследований,

полученных выводов и результатов.

Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.

Научная новизна, основные выводы, практическая и теоретическая значимость диссертационной работы подтверждаются публикациями в 6 научных изданиях из перечня, рекомендованных ВАК, докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях. В общей сложности материалы диссертационной работы представлены в 15 научных трудах.

Заключение.

Таким образом, диссертация Арустамяна Д. А. является законченной научно-квалификационной работой по актуальной тематике, в которой содержится решение задач, имеющих прикладное значение в развитии вопросов физики преобразования солнечной энергии в электрическую, а также 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 Арустамяна Д.А. и отзыв о ней заслушаны и обсуждены на семинаре лаборатории фотоэлектрических преобразователей ФТИ им. А.Ф. Иоффе 18 октября 2017 года, протокол № 8/17.

Заведующий лабораторией

Фотоэлектрических преобразователей

д.т.н., профессор,

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.