

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Чеботарева Сергея Николаевича «Ионно-лучевая кристаллизация фотоэлектрических наноматериалов с промежуточной энергетической подзоной», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы

Проблема расширения спектральной чувствительности и повышения эффективности преобразования солнечного излучения фотоэлектрическими устройствами в настоящее время приобрела особую актуальность в связи с развитием в разных странах мира, в том числе и в нашей стране, комплексных программ в области альтернативной энергетики. Известно, что эффективность однопереходного фотопреобразователя не превышает 25%. Это обусловлено неиспользованием фотонов с энергией меньше ширины запрещенной зоны полупроводникового материала. Наиболее полезную работу совершают фотоны с энергией вблизи ширины запрещенной зоны. Высокоэнергетичные фотоны порождают электронно-дырочные пары, некоторая часть энергии которых расходуется на термализацию. В последнее время динамичное развитие получил новый подход к решению проблемы термализации носителей заряда, дополняющий традиционную концепцию каскадных фотопреобразователей. Он основан на применении полупроводниковых гетероструктур с квантовыми точками. Благодаря дискретному энергетическому спектру в принципе появляется возможность решить проблему термализационных потерь. Управляя размерами, формой квантовых точек и составом матрицы, можно контролируемо модифицировать край зоны поглощения дополнительного внутреннего перехода, что позволит расширить спектральный диапазон чувствительности и увеличить генерируемый фототок. Весьма интересным подходом, направленным на минимизацию потерь, связанных с неполным поглощением солнечного излучения, является идея использования энергетических уровней в квантовых точках в качестве промежуточной зоны для создания

эффективного фотоэлектрического преобразования фотонов с энергией, меньшей ширины запрещенной зоны исходного материала. Устройства, реализующие этот эффект, получили название фотоэлектрических преобразователей с промежуточной энергетической подзоной. Их теоретический коэффициент полезного действия превышает 60%. Сказанное указывает на то, что выбранное Чеботаревым С.Н. направление исследований, нацеленное на разработку физико-технологических основ и установление физических закономерностей разработанного автором метода ионно-лучевой кристаллизации наноматериалов с промежуточной подзоной, является, безусловно, актуальной и лежит в русле развития современной физики конденсированного состояния и полупроводникового материаловедения.

Основные научные результаты и их новизна

Наиболее существенными результатами диссертационной работы являются следующие:

- разработан новый метод ионно-лучевой кристаллизации наногетероструктур с промежуточной подзоной, позволивший изготовить и исследовать характеристики фотоэлектрических устройств с расширенным спектром поглощения в инфракрасной части спектра, что привело к повышению величины генерируемого электрического тока;

- получены систематизированные данные об интегральных и дифференциальных коэффициентах распыления важнейших одно- и двухкомпонентных полупроводников (кремний, германий, арсенид галлия, арсенид индия) при использовании ионов аргона низких энергий;

- выявлен эффект релаксации нестехиометрии состава массопотока, образованного бомбардировкой ионами аргона поверхности мишеней из арсенида галлия и арсенида индия;

- установлено, что управление размерами, дисперсией и поверхностной плотностью nanoостровков в методе ионно-лучевой кристаллизации

целесообразно осуществлять варьированием энергии ионов, тока пучка и температуры подложек;

– предложена физико-математическая модель расчета функциональных характеристик однопереходных фотоэлектрических устройств с промежуточной подзоной и получение новые экспериментальные данные об их спектральных коэффициентах внешнего квантового выхода.

Научная значимость и практическая ценность работы

Научная значимость работы заключается в установлении физических закономерностей ионно-лучевой кристаллизации наиболее распространенных и перспективных полупроводниковых наногетеросистем. Выявленные эффекты релаксирующей астихиометрии распыления двухкомпонентных полупроводниковых и предложенные методические подходы по определению угловых закономерностей распыления кремния, германия, арсенида галлия и арсенида индия могут быть распространены на другие полупроводниковые материалы. Практическая ценность работы состоит в установлении технологических режимов получения одно- и многослойных фотоэлектрических наноматериалов на основе гетеросистем Ge/Si и InAs/GaAs и демонстрации прикладного потенциала фотоэлектрических и оптоэлектронных устройств с промежуточной энергетической подзоной.

Степень достоверности результатов и обоснованность научных положений

Достоверность результатов диссертационного исследования и обоснованность сформулированных обобщений и выводов не вызывает сомнения. Достоверность обеспечиваются большим объемом экспериментов, корректностью применения широкого комплекса современных высокоэффективных методов изучения морфологии поверхности, оптических и фотоэлектрических свойств с применением статистической обработки данных, авторскими методическими разработками по повышению точности атомно-силовых микроскопических исследований, сопоставлением

полученных данных с известными экспериментальными результатами родственных исследований по кристаллизации наногетероструктур, а также хорошей воспроизводимостью и глубоким анализом экспериментальных данных, основанных на современных достижениях физики конденсированного состояния. Достоверность и обоснованность результатов также подтверждается широкой апробацией на специализированных научных конференциях, научных семинарах и использованием разработок соискателя при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов по заказу государственных фондов и промышленных предприятий.

Замечания и недостатки

1. В диссертационной работе изготовлены и исследованы многослойные фотоэлектрические квантово-размерные гетероструктуры. Однако ничего не говорится об изучении температурной и временной деградации свойств таких наноструктур.

2. Представляется, что в тексте диссертации необходимо было бы более подробно обсудить вклад безызлучательной рекомбинации через глубокие уровни, образованные дефектами на гетерограницах слоистой квантово-размерной структуры.

Указанные замечания не имеют принципиального характера, не влияют на достоверность полученных результатов и не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Соответствие критериям, предъявляемым к диссертациям

По объему проведенных исследований, научной новизне, практической ценности и достоверности полученных результатов можно сказать, что рассматриваемая диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны физико-технологические основы нового метода ионно-лучевой кристаллизации наноматериалов с промежуточной подзоной, что в совокупности имеет важное значения для развития полупроводникового материаловедения, оптоэлектроники и фотоэнергетики.

Личный вклад автора является определяющим, участие соавторов отмечено. Основное содержание диссертации полностью отражено в публикациях и автореферате.

Считаю, что диссертационная работа «Ионно-лучевая кристаллизация фотоэлектрических наноматериалов с промежуточной энергетической подзоной» полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Чеботарев Сергей Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
Заслуженный деятель науки РФ,
докт. техн. наук, профессор,
начальник управления
развития перспективных
исследований, профессор
кафедры «Физика
конденсированного
состояния» НИЯУ «МИФИ»

Каргин Николай Иванович

Контактная информация:
115409, Москва, Каширское ш., 31
Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
тел. +7 (495) 788-56-99, доб. 8146
м.т. +7 (985) 411-4008
e-mail: krgn@ya.ru, NIKargin@mephi.ru
web-site: [http:// www.mephi.ru](http://www.mephi.ru)

22 апреля 2015 г.

Подпись профессора Каргина Н.И. заверяю:

Подпись удостоверяю
Заместитель начальника
документационного отдела
НИЯУ МИФИ