

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

Диссертация Чеботарева С.Н. посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию фотоэлектрических наноматериалов с промежуточной энергетической подзоной, проявляющих способность дополнительного поглощения инфракрасного излучения и позволяющих повысить эффективность преобразования оптического излучения в электрический ток. В последнее десятилетие наблюдается значительный рост интереса к многослойным гетерогенным конденсированным средам, содержащим островковые наноструктуры, в которых проявляются эффекты размерного квантования электрического заряда. В таких наноматериалах с туннельно-связанными массивами островков формируется промежуточная подзона, в которой наблюдаются дополнительные генерационно-рекомбинационные процессы. В 1997 году было теоретически показано, а в 2004 году на примере гетеросистем $A^{III}B^V$ были опубликованы первые экспериментальные результаты по созданию простейших фотоэлектрических устройств с промежуточной подзоной. Указанные результаты, в основном, были получены методом молекулярно-лучевой эпитаксии, реже методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Диссертант предложил новый альтернативный метод ионно-лучевой кристаллизации наноматериалов $A^{IV}B^{IV}$ и $A^{III}B^V$ с промежуточной подзоной и широко изучил их свойства. В этом контексте тема рецензируемой диссертации представляется безусловно актуальной и имеющей важную научно-техническую значимость.

ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выносимых на защиту научных положений диссертационной работы обусловлена тем, что они получены с использованием хорошо апробированных экспериментальных методов исследований и применением современного и адекватного математического аппарата. Автором диссертации применены методы атомно-силовой, растровой электронной и сканирующей туннельной микроскопии для исследования морфологии поверхности гетероструктур, фотолюминесценции для установления оптических свойств, спектроскопии комбинационного рассеяния для изучения динамики кристаллической решетки, емкостной спектроскопии для исследования особенностей накопления электрических зарядов в квантово-размерных объектах, вольт-амперных методов для изучения нагрузочных световых характеристик выращенных фотоэлектрических структур, спектральных методов исследования внешнего фотоотклика наноматериалов с промежуточной подзоной.

НОВИЗНА НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе разработан новый экспериментальный ростовой метод и предложена совокупность аналитических методик исследования особого класса полупроводниковых наноструктур с промежуточной энергетической подзоной. К основным новым научным результатам диссертации можно отнести следующие:

- Разработана методика и измерены дифференциальные угловые коэффициенты распыления одно- и двухкомпонентных полупроводниковых материалов ионным аргоновым пучком низких энергий и малой плотности в широком диапазоне углов.
- Впервые исследован эффект релаксации астихиометрии состава при распылении двухкомпонентных полупроводников аргоновым пучком низких энергий.

- Разработан физико-технический метод ионно-лучевой кристаллизации многослойных фоточувствительных наноматериалов с промежуточной энергетической подзоной, созданы и исследованы характеристики прототипов фотоэлектрических устройств на основе прямозонных и непрямозонных 0D-мерных наногетероструктур, в которых наблюдался эффект усиления генерации электрического тока при фотовозбуждении в ИК-области спектра.
- Предложена новая модель расчета параметров фотоэлектрического устройства с промежуточной энергетической подзоной, основанная на эффективном комбинировании генерационно-рекомбинационной модели и метода переходных матриц.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Практическая значимость результатов диссертации состоит в следующем:

- Установлены особенности формирования многослойных квантово-размерных гетероструктур при ионно-лучевой кристаллизации, необходимых для успешного создания оптоэлектронных и фотоэлектрических устройств с промежуточной подзоной, обладающих расширенным спектром поглощения инфракрасной части спектра оптического излучения.
- Разработана методика создания прецизионных наносенсоров для атомно-силовой микроскопии и предложена методика восстановления реальных размеров нанобъектов по данным зондовых исследований.
- Предложен научно-обоснованный подход к разработке конструкции многослойных фотоэлектрических наноструктур на основе соединений $A^{IV}B^{IV}$ и $A^{III}B^V$, учитывающий особенности генерационно-рекомбинационных процессов через дополнительную промежуточную энергетическую подзону, что позволяет повысить эффективность прямого преобразования солнечного излучения в электрическую энергию.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения и списка цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 289 страниц, включая 89 рисунков и 9 таблиц. Список литературы содержит 265 источников.

Диссертация отражает значительный объем как теоретической, так и экспериментальной работы, выполненной на высоком научно-техническом уровне. Поставленные в работе задачи исследования ионно-лучевой кристаллизации наноматериалов с промежуточной подзоной были решены с использованием комплексного подхода, включающего в себя применение широкого спектра современных методов исследований, разработку новых и адаптацию существующих методик исследования, а также широкое привлечение аппарата математического моделирования.

Результаты исследований опубликованы в ведущих научных журналах, представлены в патентах и программах для ЭВМ. Опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации. Результаты исследований были использованы при выполнении большого количества научно-исследовательских работ как фундаментального, так и прикладного характера.

Личный вклад автора состоял в постановке цели и задач работы, разработке концептуальных подходов, выполнении расчетов, непосредственном проведении экспериментальных исследований, обработке, анализе и обобщении полученных результатов. Положения, выносимые на защиту и составляющие научную новизну диссертационной работы, получены лично автором.

СООТВЕТСТВИЕ ПАСПОРТУ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Автореферат содержит краткое изложение всех основных научных результатов диссертационной работы. Диссертация и автореферат удовлетворяют паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, а полученные результаты в полной мере удовлетворяют формуле этой специальности и соответствуют следующим областям исследований: п. 2. Теоретические и экспериментальное исследование физических свойств

неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы и дисперсные системы, п. 4. Теоретические и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ», п. 6. Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. В третьей главе на рисунке 3.12 (стр. 142) приведено изображение кратера, образованного при распылении кремния аргоновым пучком, было бы полезно привести градиентную шкалу высот, что является естественным при проведении широкого класса зондовых исследований. То же замечание относится к рисункам 4.7 (стр. 160) и 5.1 (стр. 198).
2. При анализе морфологии поверхности образцов методом атомно-силовой спектроскопии (раздел 4) было бы полезно помимо полученных автором гистограмм распределения латеральных размеров нанообъектов привести аналогичные гистограммы распределения высот островковых наноструктур.
3. В главе 6 проведено моделирование характеристик фотоэлектрических устройств с промежуточной подзоной. Однако, в тексте диссертации не приведены данные о временах жизни и коэффициентах диффузии носителей заряда в базовом и фронтальном слоях. Следовало бы пояснить какие именно численные параметры использованы при расчетах.
4. На зонной диаграмме рисунка 6.2 не приведены численные значения положения донорного, акцепторного и промежуточного уровней. Не указано также для какого вида солнечного спектра проводилось моделирование.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Чеботарева С.Н. изложена грамотно и доказательно, ее научное содержание и стиль изложения соответствует современному международному уровню исследований в области физики конденсированного состояния. Диссертацию можно охарактеризовать как завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложено решение научной проблемы, имеющей важное значения для развития физики и технологии квантово-размерных наногетероструктур.

Считаю, что диссертационная работа «Ионно-лучевая кристаллизация фотоэлектрических наноматериалов с промежуточной энергетической подзоной» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к докторским диссертации, а ее автор Чеботарев Сергей Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Заведующая отделом интеллектуальных
материалов и нанотехнологий НИИ физики
Южного федерального университета,
доктор физико-математических наук,
профессор



Резниченко Лариса Андреевна

09 апреля 2015 г.

344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194

Научно-исследовательский институт физики

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

тел + 7 (863) 243 40 66, м.т. +7(918) 53 51 483; e-mail: ilich001@yandex.ru

Подпись профессора Резниченко Л.А. заверяю:

Зам. директора

Вербенко И.А.

