

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Еримеева Георгия Александровича «Особенности взаимодействия низкоэнергетических ионов аргона с поверхностью кристаллических моноарсенидов со структурой сфалерита», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Интенсивное развитие нанoeлектроники в значительной степени усилило интерес к получению новых классов материалов. Особую актуальность приобрели задачи, направленные на изучение механизмов кристаллизации и разработку способов управления физическими свойствами систем пониженной размерности: тонких пленок, гетеросистем с квантовыми точками и квантовыми ямами. Свойства низкоразмерных систем являются производными их морфологии, атомной структуры, кристалличности и степени ее совершенства, которые, в свою очередь, определяются особенностями их получения. Одним из технологических способов модификации и синтеза низкоразмерных систем является ионно-лучевое распыление, которое в последнее время получило весьма широкое распространение. В связи с этим диссертация Еримеева Г.А., посвященная изучению влияния ионной бомбардировки на морфологию поверхности многокомпонентных полупроводников, исследование изменения состава приповерхностных областей, а также исследованию закономерностей кристаллизации низкоразмерных систем монарсенидов со сфалеритной структурой, является, несомненно, актуальной и лежит в русле развития современного полупроводникового материаловедения.

НОВИЗНА НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Среди новых и оригинальных научных результатов, полученных соискателем, отмечу следующие:

- установлено, что изменение направления падения низкоэнергетического аргонового пучка на поверхность моноарсенидов индия и галлия от нормального до критического угла сопровождается

формированием волнообразной поверхности с перпендикулярным упорядочиванием волн. В окрестности критических углов наблюдается образование неупорядоченной развитой структуры. Для скользящих углов характерна смена направления упорядочивания волн с перпендикулярной на параллельную. Показано, что для арсенида галлия критический угол составил $\theta_{кр} = 72^\circ$, для арсенида индия – $\theta_{кр} = 78^\circ$;

- предложена модель формирования периодически модулированной упорядоченной волнообразной структуры на поверхности моноарсенидов при бомбардировке ионами аргона. Теоретически показано, что в приближении относительно высоких температур и низкой плотности ионного тока расчетные размеры волнообразной структуры, упорядоченной перпендикулярно направлению падения пучка, составляет порядка 50 нм, что весьма хорошо согласуется с экспериментальными данными;

- разработана модель нестехиометричного распыления бинарных полупроводниковых материалов, учитывающая изменение состава приповерхностных слоев за счет преимущественного распыления одной из компонент;

- изучена температурная зависимость изменения состава приповерхностной области монокристаллических подложек арсенида галлия при бомбардировке ионами аргона с энергией 0,5 – 5 кэВ. Обнаружен эффект снижения нестехиометричности начальной фазы распыления с 2,2 до 1,7 долей NGa/NAs в диапазоне от -50°C до $+150^\circ\text{C}$;

- показано, что увеличение температуры ионно-лучевой кристаллизации моноарсенида индия на подложках арсенида галлия в интервале $500 - 650^\circ\text{C}$ при постоянном токе пучка 110 – 130 мкА и энергии 150 – 200 эВ вызывает разрастание nanoостровков с 18 до 30 нм.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

К важным практическим результатам диссертации Еримеева Г.А. можно отнести следующие:

- разработан комплекс технологических операций по управляемому наноструктурированию поверхности моноарсенидов галлия и индия со структурой сфалерита, используя низкоэнергетичное ионно-стимулированное воздействие;

- предложен технологический способ выращивания плотных массивов островковых наноструктур арсенида индия на поверхности арсенида галлия, используя низкоэнергетичные ионные пучки;
- разработана методика измерения содержания мышьяка и галлия в приповерхностных слоях естественно окисленного моноарсенида галлия, подвергнутого бомбардировке низкоэнергетическими ионами аргона, падающими под различными углами.

Полученные результаты могут использоваться для разработки технологии управляемого синтеза новых гетероструктур, перспективных для создания устройств фотоники и оптоэлектроники.

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Достоверность результатов диссертационного исследования и обоснованность сформулированных обобщений и выводов не вызывает сомнения. Достоверность обеспечивается большим объемом экспериментов, корректностью применения широкого комплекса современных высокоэффективных методов исследования, сопоставлением полученных данных с известными экспериментальными результатами родственных исследований и глубоким анализом экспериментальных данных, основанных на современных достижениях физики конденсированного состояния.

Достоверность полученных результатов подтверждается также использованием аттестованных методик исследований с применением метрологически поверенной, сертифицированной в соответствии с российскими и международными Стандартами измерительной аппаратуры.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА

Личный вклад автора состоял в разработке экспериментальных методик, выполнении расчетов, непосредственном проведении экспериментальных исследований, анализе и обобщении полученных результатов. Результаты, выносимые на защиту и составляющие научную новизну диссертационной работы, получены автором лично. Вклад научного руководителя и соавторов публикаций полученные в диссертации результаты отдельно отмечается в тексте диссертационной работы.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ И ЕЕ ЗАВЕРШЕННОСТИ

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, трех приложений и списка литературы. Объем диссертации составляет 124 страницы, включая 41 рисунок, 5 таблиц и списка цитированной литературы из 130 источников.

Диссертация отражает значительный объем проделанной теоретической и экспериментальной работы, выполненной на высоком научно-техническом уровне. Поставленные в диссертационной работе задачи решены с использованием комплексного подхода, включающего в себя применение широкого спектра современных методов исследования.

Диссертация производит хорошее впечатление как по широте охвата изучаемой проблемы, так и по стилю изложения, оформлению графического материала, четкости и ясности сформулированных выводов.

Тематика и содержание диссертации отвечают формуле Паспорта специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния. Автореферат корректно отражает содержание и основные результаты диссертации.

ПУБЛИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в диссертационной работе результаты отражены в 16 публикациях, из них 2 статьи в журналах, индексируемых в базе данных Scopus, 6 статей в журналах из перечня ВАК, 8 публикаций в трудах международных и всероссийских конференций.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. В уравнении (3.1) на стр. 52 используются параметры α и β , которые характеризуют геометрические размеры волнообразной структуры, формирующейся при падении ионного пучка под разными углами. В тексте диссертации соискатель отмечает, что эти коэффициенты сопоставимы по порядку величины. Однако, в экспериментальной части показано, что эти коэффициенты в действительности отличается примерно в десять раз. Поэтому, с учетом экспериментальных данных необходимо было бы отметить, что эти параметры не просто сопоставимы по порядку, а коэффициент β на порядок больше коэффициента α .

2. В главе 3 графики с экспериментальными результатами, представленными на рис. 3.6 и рис. 3.8, не содержат сведений о погрешности измерений. Хотя очевидно, что, используя метод измерения линейных размеров морфологии сформировавшейся структурированной волнообразной поверхности по микрофотографиям, полученным на атомно-силовом микроскопе, погрешность складывается из неточности визуального определения границ объекта, так и размытия границ измеряемого объекта.

3. По тексту диссертации автор многократно отмечает кристаллографическую ориентацию подложек арсенида галлия – (001). Однако, на протяжении всей главы 5 она не меняется. Какой смысл в таком многократном повторении?

4. Автор при описании методики емкостной спектроскопии (стр. 49-50) и при описании электрических свойств объектов (стр. 99-111) не пояснил, на какой частоте измерялась емкость.

5. Приведенные на графиках обозначения единиц в некоторых случаях не поясняются. В других случаях, как на рис. 3.5 на размерных маркерах единицы измерения отсутствуют. В то время, как на рис.5.3 и рис. 5.6. используется обозначение единиц измерения на английском языке.

6. При выполнении исследований автор использует достаточно много методик и измерительных стендов, однако из текста диссертации не совсем понятно, где проводились эти исследования.

Однако, отмеченные недостатки и сделанные замечания не ставят под сомнение полученные результаты, не снижают научной новизны и практической ценности диссертационной работы и, в целом, не влияют на общее положительное впечатление от диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По объему проведенных исследований, научной новизне, практической ценности и достоверности полученных результатов можно сказать, что диссертация Еримеева Г.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей существенное значение для развития физики и технологии полупроводниковых многокомпонентных наноструктур на основе

моноарсенидов галлия и индия, применяемых в фотонике и СВЧ-электронике.

Считаю, что диссертационная работа «Особенности взаимодействия низкоэнергетических ионов аргона с поверхностью кристаллических моноарсенидов со структурой сфалерита» удовлетворяет критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном Правительством Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (пп. 9–14), а ее автор, Еримеев Георгий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент –
кандидат физико-математических наук,
заведующий лабораторией наноразмерных
активных сред и материалов
ФИЦ «Южный научный центр
Российской академии наук»



Павленко Анатолий Владимирович

Подпись к.ф.-м.н. Павленко А.В. заверяю:

Ученый секретарь ЮНЦ РАН



Булышева Наталья Ивановна

344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр «Южный научный центр
Российской академии наук»»

тел. +7 (863) 219-87-61

факс: +7 (863) 266-43-20

tolik_260686@mail.ru

<http://www.ssc-ras.ru>