



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

ул. Хлопина, 8, корп. 3, Лит.А С.-
Петербург, 194021
Телефон(факс): (812) 448-69-80
<http://www.spbau.ru>
ОКПО 59503334, ОГРН
1027802511879
ИНН/КПП 7804161723/780401001



№ _____

№ _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Панькина Дмитрия Васильевича

«Исследование полярных оптических фононов в слоистых гетероструктурах»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Д.В. Панькина посвящена исследованию пространственного строения слоистых гетероструктур методом спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). В работе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований слоистых гетероструктур (квантовых ям и сверхрешеток), выращенных из полупроводниковых материалов типа A^3B^5 .

Особый акцент делается на перспективных с точки зрения практического применения широкозонных материалах - нитридах галлия и алюминия. В работе демонстрируется возможность описания особенностей выращенной слоистой гетероструктуры на основе сведений о фоновом спектре, полученных из анализа спектров комбинационного рассеяния света (КРС). Этот результат открывает перспективу использования метода КРС для быстрой, бесконтактной и неразрушающей диагностики структуры выращенных образцов.

Особое внимание автором диссертации уделяется полярным оптическим фононам, которые, как правило, достаточно интенсивны в спектрах КРС и, в то же время, чувствительны к особенностям строения слоистых гетероструктур.

Проведенный в работе Д.В. Панькина теоретический анализ спектра полярных фононов основан на модели диэлектрического континуума (МДК), которая зарекомендовала себя как

сравнительно простой и эффективный подход, позволяющий связать фононные состояния с особенностями пространственного строения наноразмерных гетероструктур. В диссертации рассмотрены общие свойства решений уравнений МДК, описывающих фононные состояния в произвольных слоистых гетероструктурах и исследовано влияние структурной анизотропии материалов отдельных слоев. При этом детально рассмотрены важные для применений случаи изолированного гетероперехода, одиночной квантовой ямы и сверхрешетки, слои которых содержат сфалеритные и вюрцитные модификации нитридных материалов GaN и AlN. В работе продемонстрирована перспективность использования информации о частотах полярных оптических фононов в сверхрешетках для оценки упругих деформаций. В качестве структурных параметров, влияющих на частоты полярных оптических фононов, рассматриваются соотношение толщин слоёв, общая длина периода сверхструктуры, влияние буферных слоев, наличие и величина упругих деформаций в материалах слоев и толщины интерфейсов. Комплексное исследование фононных состояний с учетом всех вышеперечисленных структурных факторов позволило выявить чувствительность к каждому из них отдельных типов полярных оптических фононов. В частности, Д.В. Панькиным установлено, что частоты фононных мод, в которых атомные смещения в соседних слоях синфазны, чувствительны только к отношению толщин основных слоев, а свойства фононных мод, в которых атомные смещения в соседних слоях антифазны, сильно зависят от величины упругих деформаций. Этот результат, подтвержденный сравнением с экспериментальными данными, полученными методом КРС, открывает возможность использования КРС для количественной оценки величин деформаций. Анализ влияния конечной толщины интерфейсов в сверхрешетках позволил предсказать появление дополнительных антифазных фононных мод в соседних слоях. Значения частот этих мод позволяют оценить степень размытости интерфейсов. Кроме того, автором диссертации предложен способ модификации уравнений МДК, позволяющий учесть влияние буферных слоев.

Актуальность темы диссертации

Актуальность темы диссертации Д.В. Панькина связана с перспективностью использования слоистых гетероструктур на базе широкозонных материалов, особенно на базе нитридов галлия и алюминия, в оптоэлектронике и лазерной технике. На данный момент применение таких гетероструктур ограничено технологическими проблемами, основная из которых - получение максимально бездефектной структуры с минимальными напряжениями слоев. Наличие этих напряжений связано с рассогласованием постоянных решеток как материалов основных слоёв, так и буферного слоя. Задача контроля качества гетероструктур требует разработки методик диагностики выращенных образцов и

предсказания их свойств. В связи с этим тема диссертации Д.В. Панькина «Исследование полярных оптических фононов в слоистых гетероструктурах» является актуальной, а само диссертационное исследование вносит существенный вклад в развитие соответствующего направления.

Основные научные результаты, полученные автором, и их новизна

В итоге выполнения диссертационного исследования автором получены следующие основные новые результаты:

- 1) Предложен формальный метод написания вековых уравнений с учетом влияния буферных слоев в сверхрешетке;
- 2) Проанализировано влияние упругих деформаций на частоты полярных оптических фононов в сверхрешетках, что открывает возможность оценки соотношения толщин и упругих деформаций в слоях на основе измерений комбинационного рассеяния;
- 3) Установлена связь между расщеплением конфейнментных и интерфейсных мод сверхрешеток и их периодом;
- 4) Предложена модификация стандартной МДК, позволяющая учитывать влияние размытости интерфейсов сверхрешеток и предсказано появление дополнительных фононных мод с антифазным характером в соседних слоях; расщепление этих мод позволяет оценить степень размытости интерфейса;
- 5) Обоснована применимость результатов определения частот полярных оптических фононов для описания структурных особенностей сверхрешеток.

Степень обоснованности научных положений, результатов и выводов

Достоверность полученных теоретических и экспериментальных результатов диссертационного исследования подтверждается их согласованностью и соответствием результатам, опубликованным ранее в научной литературе.

Практическая значимость полученных автором результатов

Практическая значимость полученных автором результатов обусловлена продемонстрированной применимостью данных, получаемых при исследовании комбинационного рассеяния, для диагностики квантоворазмерных полупроводниковых структур - множественных квантовых ям и сверхрешеток –определения толщин и числа слоев, качества интерфейсов, наличия и величины упругих напряжений. Таким образом, комбинационное рассеяние, опираясь на полученные Д.В. Панькиным результаты и предложенные методы расчета, может быть использовано как неразрушающий

бесконтактный метод контроля/диагностики при выращивании лабораторных образцов и промышленном изготовлении приборных структур с квантовыми ямами и сверхрешетками.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертации результаты представляют интерес для специалистов, работающих в области материаловедения и технологии роста полупроводниковых и диэлектрических наноструктур. Результаты диссертации могут быть использованы на предприятиях, связанных с изготовлением ИК-датчиков, лазерной техники, фотонных устройств, работающих в синем и зеленом спектральных диапазонах и при высоких напряжениях, в частности, нв АО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха», НПП «Буревестник», ОАО «Авангард», ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова и др. Материалы диссертации будут полезны специалистам, занятым разработкой и ростом полупроводниковых слоистых структур, научным лабораториям соответствующего профиля. Эти результаты могут быть использованы в учебных организациях, осуществляющих подготовку специалистов в области физики конденсированных сред и физического материаловедения.

Оформление диссертации, публикации и апробация

Диссертация состоит из введения, девяти глав, выводов и списка литературы, включающего 134 наименования. Общий объем работы – 161 страница машинописного текста, включая 38 рисунков и 9 таблиц. Работа написана логичным, доступным для понимания языком. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Материалы диссертации опубликованы в 14 печатных работах, в том числе в 4 статьях в реферируемых отечественных и зарубежных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Содержание диссертации адекватно отражено в автореферате. Основные результаты диссертации докладывались автором на международных и всероссийских конференциях и семинарах.

Замечания по диссертации

Следует отметить, что в целом материал диссертации хорошо структурирован и представлен. Тем не менее, работа не лишена некоторых недостатков, в числе которых можно отметить следующие:

1. На рисунке 6.5 представлены экспериментальные КР-спектры GaN/AlN сверхрешетки, однако какая-либо информация об исследованном образце в тексте диссертации, за исключением подрисуночной подписи, отсутствует. Как этот образец изготавливался, проводилась ли его диагностика какими-либо методами, что о нем

известно? Как выполнялись КР измерения? Судя по отсутствию ссылки в подрисуночной подписи, эти эксперименты были выполнены автором диссертации. В этом случае следовало бы описать и подготовленный образец и эксперимент существенно подробнее.

2. В главе 9, посвященной исследованиям влияния размытости интерфейсов на фононные частоты, отсутствует какое-либо сопоставление теоретических результатов с экспериментальными данными.
3. На стр. 15 автором написано: «Характерный период СР существенно превышает период кристаллической решетки, что приводит к качественно новым свойствам носителей заряда и фононов по сравнению с объемными материалами.». Здесь хочется не согласиться с этим утверждением, поскольку свойства сверхрешеток определяются не тем, что период структуры существенно больше периода кристаллической решетки, а его малостью относительно макромасштаба, что и определяет возможность размерного квантования.

Следует заметить, что диссертация Д.В. Панькина грамотно написана, количество ошибок и опечаток мало, что, к сожалению, в последнее время нехарактерно для кандидатских диссертаций. Однако небольшое количество дефектов все же присутствует, например, в п. 4.1.2 оглавления пропущена буква «з» в слове «произвольная», на стр. 15 в шестой сверху строчке вместо «также» вопреки грамматике написано «так же», на стр. 19 в пятой сверху строчке после слова «алюминия» отсутствует необходимая запятая, в слове «продемонстрирована» в пятой снизу строчке на стр. 22 пропущена буква «н» и ряд других

Тем не менее, указанные замечания не снижают высокого уровня представленной на рассмотрение диссертационной работы.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Панькина Д.В. является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей новые результаты в области физики полупроводниковых гетероструктур, в которой выявлены закономерности влияния различных структурных факторов на фононные состояния, представлены разработанные автором диссертации подходы к использованию спектров КРС для мониторинга пространственного строения гетероструктур. Работа имеет большое практическое значение для развития физики новых материалов для оптоэлектроники. Полученные в работе результаты и выводы являются достоверными и обоснованными. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Тематика выполненных Панькиным Д.В. исследований соответствует шестому пункту паспорта специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния: «Разработка

экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами».

Диссертационная работа Панькина Д.В. по форме и содержанию соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением №842 Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. Автор диссертации Панькин Д.В. заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Отзыв составлен на основании знакомства с текстом диссертации и авторефератом и доклада Панькина Д.В. на научном семинаре Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук».

Присутствовало на заседании 11 чел. Результаты голосования:

«за» - 11 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол №2 от 02 апреля 2018 г.

Профессор, заместитель заведующего кафедрой физики и технологии наногетероструктур Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук», д.ф.-м.н.

Липовский Андрей Александрович



194021 Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д.8, корпус 3, лит. А

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук»,

телефон: (812) 297-21-45, факс: (812) 448-69-98, e-mail: office@spbau.ru