

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента 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»**

### **1. Структура диссертационной работы**

Диссертационная работа Д.В. Панькина состоит из введения, девяти глав, основных результатов, выводов и списка используемой литературы. Текст диссертации изложен на 161 странице, включая 38 рисунков, 9 таблиц, список цитируемой литературы содержит 134 наименования.

### **2. Актуальность диссертационной работы**

Тема кандидатской диссертационной работы посвящена исследованию полярных оптических фононов в слоистых гетероструктурах с плоскими интерфейсами. Актуальность проведения такого рода исследования связана с растущей необходимостью улучшения качества выращиваемых гетероструктур и оптимизацией процесса их синтеза. В качестве экспериментального метода исследования структуры выбран чувствительный, бесконтактный и неразрушающий метод спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС), который на протяжении нескольких десятилетий активно и успешно используется для исследования искусственно выращиваемых слоистых гетероструктур и не только. Выбор объектов исследования – гетероструктур на базе широкозонных материалов нитрида галлия и нитрида алюминия - связан с перспективным практическим применением в оптоэлектронике. Большие ширины запрещенных зон данных материалов позволяют работать при высоких температурах и высоких напряжениях. А лазерная и детектирующая техника на базе гетероструктур из таких материалов может работать как в сине-зеленой области спектра (для гетероструктур на междозонных переходах), так и в инфракрасной (ИК) области (для гетероструктур на межподзонных переходах). Актуальной технической проблемой для таких гетероструктур является оптимизация процесса роста с целью улучшения качества, которая требует разработки метода контроля, чувствительного к особенностям. В данной работе предлагается анализ корреляции частот отдельных типов полярных оптических фононов с структурными особенностями образца, что делает данную

работу, представляющей интерес для контроля и анализа выращиваемых слоистых гетероструктур.

### **3. Новизна полученных данных**

В качестве новых и наиболее значимых результатов этой работы можно отметить следующие:

- проведена классификация различных типов полярных оптических фононов, активных в спектрах КРС слоистых гетероструктур, и продемонстрирована возможность использования фононных частот для описания структурных особенностей выращиваемых сверхрешеток (СР) GaN/AlN;
- получены и доказаны общие свойства решений уравнений в рамках модели диэлектрического континуума (МДК);
- приведен формальный метод учета влияния буферных слоев;
- модифицирована схема МДК для учета размытости гетерограницы;
- проведено экспериментальное и теоретическое исследование влияния на спектры КРС деформаций в СР GaN/AlN, определены типы полярных оптических фононов чувствительных и нечувствительных к этим деформациям.

**4. Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов** определяется согласием экспериментальных данных, полученных с использованием современного оборудования (спектрометр комбинационного рассеяния света исследовательского класса T64000 (Horiba Jobin Yvon)), с результатами теоретических расчетов, проведенных как в данной диссертации, так и теоретическими и экспериментальными результатами, представленными в работах других авторов.

### **5. Практическая значимость результатов**

Автором показана перспективность анализа спектров КРС в области полярных оптических фононов для количественной оценки таких геометрических особенностей выращенной гетероструктуры, как соотношение толщин слоев, величины упругих деформаций, степень размытости гетерограницы. Вкупе с установленными общими свойствами решений в рамках МДК это позволяет применять полученные в данной работе результаты для разработки и конструирования слоистых оптоэлектронных устройств с наперед заданными свойствами, а так же для неагрушающего бесконтактного контроля качества уже выращенных слоистых гетероструктур.

### **Апробация работы**

Основные результаты работы изложены в 4 статьях в рецензируемых научных журналах и изданиях, включая 3 статьи, рецензируемые в базе цитирования Scopus.

Результаты исследования докладывались на 10 российских и международных конференциях и симпозиумах различного уровня.

**6. Содержание автореферата** в полной мере отражает структуру, идеи, результаты и выводы диссертации, а также содержит перечень опубликованных работ. Диссертация написана ясным и понятным языком и содержит небольшое количество опечаток и стилистических неточностей. Текст автореферата полностью раскрывает содержание диссертационной работы. Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям, предъявляемым к научным работам.

#### **7. Замечания по диссертационной работе:**

1. Автор не приводит информацию об исследуемых образцах: не описаны методы их синтеза и экспериментального определения толщин слоев.
2. В главе 8, исследуя влияние на фононный спектр СР буферных слоев, автор рассматривает симметричную МКЯ, ограниченную с обоих концов полубесконечными слоями одинакового материала. Однако, в реальных слоистых структурах буферный слой и слой зарастивания (cap layer), как правило, отличаются. Возможно ли применять предлагаемую вами методику и к таким объектам?
3. В работе предлагается использовать информацию о расщеплении частот фононных мод, наблюдаемых в спектрах КРС, для оценки таких структурных факторов, как период СР и толщина интерфейса. Однако, в работе не приводится оценка диапазона значений этих параметров, в котором такая оценка возможна

В работе есть мелкие единичные опечатки, появившиеся при наборе текста и формул, например, в формуле (4.31) и (4.32) на стр. 57, где в пределах интегрирования вместо  $z_n$  и  $z_{n-1}$  набрано  $s_n$  и  $s_{n-1}$ , или, например, на стр. 8 «Установлена зависимость между частотами полярных фононов и соотношением толщин слоев в бинарных *гетероструктурах*»

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки выполненной диссертационной работы.

#### **8. Заключение**

Содержание диссертационной работы Панькина Дмитрия Васильевича «Исследование полярных оптических фононов в слоистых гетероструктурах» соответствует паспорту представляемой специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния». Основные результаты, полученные в рамках данной работы были опубликованы и представлены на международных, всероссийских и региональных конференциях. автореферат диссертации отражает содержание работы и основные научные положения, выносимые на защиту.

Представленная диссертация в целом является цельной научно-квалификационной работой и содержит требуемую совокупность научной новизны, обособанности выводов и практического значения.

Вышеизложенное позволяет считать, что представляемая диссертационная работа «Исследование полярных оптических фононов в слоистых гетероструктурах» полностью удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 года, а её автор Панькин Дмитрий Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор,

научная специальность 01.04.10 – «Физика полупроводников и диэлектриков»,

профессор кафедры «Технология и исследование материалов»

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский

политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург,

Лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники

195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

т. раб.: 8(812) 552-75-63; моб.: 8(921)347-30-33

e-mail: nemov\_s@mail.ru

