

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Панькина Дмитрия Васильевича**

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

Диссертационная работа Панькина Д.В. посвящена теоретическому и экспериментальному изучению влияния структурных факторов на спектры полярных оптических фононов в полупроводниковых слоистых гетероструктурах. В качестве объекта исследования были выбраны множественные квантовые ямы (МКЯ) и сверхрешетки (СР) GaN/AlN. Большой интерес исследователей к изучению физических свойств таких структур обусловлен их огромным потенциалом для создания приборов нового поколения широкого профиля. Так, например, короткопериодные СР GaN/AlN могут использоваться для замены тройных растворов AlGaN в эмиттерных слоях оптоэлектронных и электронных приборов. Они также могут использоваться для создания униполярных приборов работающих на эффекте межподзонных переходов в ближнем ИК диапазоне. Кроме того, возможность управления упругими напряжениями в СР позволяет использовать их как переходные слои в структурах с сильным рассогласованием подложки и эпитаксиального слоя (например, при росте на подложках кремния). Информация о колебательных свойствах СР GaN/AlN необходима не только для глубокого понимания протекающих в них физических процессов, но представляет также несомненный интерес для технологии получения слоистых гетероструктур с заданными свойствами, поэтому актуальность выполненных исследований не вызывает сомнений.

Автором получен ряд новых и интересных экспериментальных результатов и разработаны теоретические модели, позволяющие их объяснить. Отмечу лишь некоторые из них, представляющие, на мой взгляд, наибольший интерес.

1. Показано, что упругие деформации, возникающие в слоях СР GaN/AlN из-за рассогласования параметров кристаллической структуры, слабо влияют на частоты полярных оптических мод симметрии A(TO) и E(LO), в которых смещения атомов в соседних слоях синфазны, и сильно влияют на моды с антифазными атомными смещениями. Эти результаты дают основание для использования спектральных линий синфазных мод для определения соотношения толщин слоев в исследуемой структуре и использования спектральных линий антифазных мод для оценки величины упругих деформаций.

2. Показано, что наличие интерфейсных слоев конечной толщины приводит к появлению дополнительных фононных мод, активных в спектрах комбинационного рассеяния света (КРС). Частоты этих новых спектральных линий содержат информацию, позволяющую оценить относительную толщину интерфейсных слоев.


3. Установлено, что частоты полярных оптических мод симметрии A(TO) и E(LO), соответствующих наиболее интенсивным линиям в спектрах КРС СР GaN/AlN, сильно зависят от отношения толщин слоев. Эти зависимости меняются при вариации длины периода сверхструктуры, что позволяет из анализа частотного распределения линий КРС получить количественную оценку не только отношения толщин слоев, но и значения полного периода СР.

4. Предложен новый метод учета влияния буферных слоев на частоты полярных оптических фононов в СР и МКЯ и предложена новая модель учета диффузии атомов на плоской гетерогранице.

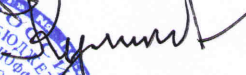
Таким образом, в работе показано, что подход, основанный на применении модели диэлектрического континуума, можно успешно применить для оценки влияния разных структурных факторов на частоты фононов и, таким образом, установить практически важные корреляции «структура-спектр» для ряда слоистых гетероструктур GaN/AlN.

Исследования, проведенные Панькиным Д.В., обладают несомненной новизной и научной значимостью. Результаты работы прошли серьезную апробацию: они опубликованы в периодических научных изданиях входящих в список ВАК и многократно докладывались на российских и международных конференциях. В целом, по объему полученных результатов диссертационная работа Панькина Д.В. представляет собой законченное научное исследование. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Считаю, что новизна, достоверность, научная и практическая значимость полученных результатов позволяют утверждать, что работа удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Панькин Дмитрий Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.



Сахаров Алексей Валентинович
Старший научный сотрудник Лаборатории Физики полупроводниковых гетероструктур,
Центр физики наногетероструктур
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
“Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук”
Кандидат физико-математических наук
01.04.10 – физика полупроводников
194021, С.-Петербург, Политехническая 26, ФТИ им. А.Ф.Иоффе
Тел. +7-812-292-71-32, E-mail: Val@beam.ioffe.ru

Подпись Сахарова А.В. удостоверяю 
Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе
доктор физ.-мат. наук, профессор А.П. Шергин

11.04.2018г.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Панькина Дмитрия Васильевича
«Исследование полярных оптических фононов в слоистых гетероструктурах»
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Развитие методов синтеза гетероструктур в которых варьируется точность и скорость роста структуры, а также совершенствование методов экспериментальной диагностики выращенных структур способствует созданию новых материалов применимых в качестве ключевых элементов оптоэлектронных устройств. Особое место среди этих материалов занимают гетероструктуры на основе пары GaN/AlN.

Диссертационная работа Панькина Д.В. посвящена исследованию поведения полярных оптических фононов в слоистых гетероструктурах. В качестве экспериментального метода выбрана спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС), зарекомендовавшая себя как чувствительная, точная и неразрушающая методика исследования структуры образцов. Для оценки влияния структурных особенностей на частоты фононов использовалась модель диэлектрического континуума, которая применяется при моделировании фононных состояний в гетероструктурах. Использование такого подхода позволяет установить взаимосвязь между экспериментальными спектрами КРС и структурой исследуемых гетероструктур GaN/AlN.

Результаты диссертационной работы имеют практическую значимость и могут быть использованы при количественной оценке толщины слоёв гетероструктур GaN/AlN и оценке степени размытости интерфейса. Развитие модели диэлектрического континуума имеет интерес с фундаментальной точки зрения.

При ознакомлении с авторефератом возникло следующее замечание:

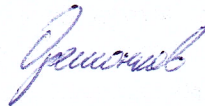
1. Из текста автореферата не совсем понятно наблюдались ли экспериментально аномальные моды, связанные с синфазными и антифазными движениями в промежуточных слоях или этот результат исключительно теоретический? Наблюдались ли подобные моды в других гетероструктурах?

Отмеченное замечание не является принципиальным и носит уточняющий характер. Апробация работы была проведена на российских конференциях и международных симпозиумах. По теме диссертации опубликовано 4 работы в журналах, входящих в список ВАК, 3 из которых индексируются базой Scopus.

Судя по материалам автореферата, диссертационная работа Д.В. Панькина выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Научный сотрудник Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения
Российской академии наук - обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН

к.ф.-м.н.,
01.04.05 – оптика



Орешонков Александр Сергеевич

Подпись Орешонкова А.С. заверяю
Зам. директора ИФ СО РАН по научной работе
к.ф.-м.н.



Вьюнышев Андрей Михайлович

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Д.В. Панькина “Исследование полярных оптических фононов в слоистых гетероструктурах”, представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Д.В. Панькина посвящена изучению фононного спектра, чувствительного к изменению структурных параметров слоистых гетероструктур на основе нитридных полупроводников типа A_3B_5 , среди которых особенное место занимают GaN и AlN. Диапазон разброса величин ширины запрещённой зоны в этих материалах ($E_g=6\text{eV}$ в случае AlN и $E_g=3.4\text{eV}$ в случае GaN), а также развитие методов роста слоистых гетероструктур, таких как молекулярно-пучковая эпитаксия и газофазная эпитаксия из металл-органических соединений, которое привело к существенному улучшению качества образцов, позволяет создавать технически актуальные оптоэлектронные приборы на основе этих полупроводников. Однако, для применения структур на практике необходимо изучение фундаментальных свойств этих материалов, таких как структурные особенности образцов выращенных в различных режимах. Наиболее чувствительным методом, в данном случае является спектроскопия комбинационного рассеяния (КР) света. Для анализа спектров КР, с целью отнесения линий конкретным типам колебаний в сложных структурах с пониженной симметрией, недостаточно только лишь теоретико-группового анализа, а методы моделирования динамических свойств (например, первопринципные, в рамках теории функционала плотности) весьма требовательны к вычислительным ресурсам. Поэтому в качестве теоретического подхода была выбрана модель диэлектрического континуума (МДК), успешно ранее примененная для моделирования фононных состояний в разнообразных гетероструктурах.

В диссертационной работе получен ряд интересных и важных для науки и практики результатов, в том числе: тщательно проанализированы экспериментальные спектры КР различных гетероструктур, из чего сделан вывод о локализации полярных фононов с волновым вектором, направленного перпендикулярно плоскости интерфейса в слоях из разных материалов. Определены ключевые структурные факторы, влияющие на частоты полярных оптических фононов в слоистых гетероструктурах. А также получены численные оценки влияния упругих деформаций материалов слоёв на частоты полярных оптических фононов.

Результаты диссертации достаточно хорошо известны широкой научной общественности по публикациям в ведущих отечественных и международных научных журналах и по докладам на различных конференциях. Личный вклад автора в этих исследованиях является существенным и корректно отражён в автореферате.

Имеющиеся вопросы и замечания по автореферату связаны, скорее всего, с вынужденной краткостью изложения материала и носят скорее дискуссионный характер.

1. В реферате довольно сложно сформулировано первое положение выносимое на защиту, возможно лучше было бы его сформулировать следующим образом:

Общим свойством пространственного распределения поляризации, индуцированной полярными интерфейсными фононами в произвольной плоской гетероструктуре, является


одновременное равенство нулю значения компоненты электрического поля в направлении, перпендикулярном к интерфейсам, усреднённой по направлению вектора нормали к плоскости интерфейса, равно как и компоненты вектора электрического смещения в плоскости интерфейса, также усреднённой по направлению вектора нормали к плоскости интерфейса. Использование этого положения значительно упрощает процедуру решения уравнений, описывающих в приближении диэлектрического континуума спектр полярных фононов в произвольной плоской гетероструктуре.

2. В пункте «Достоверность полученных результатов», фразу «высокоточные квантово-механические расчёты» следует заменить на «прецизионные квантово-механические расчёты»

3. В разделе «Содержание работы» где излагается материал второй главы, несколько раз допущена слишком жаргонная фраза, например «в спектре СР симметрии $A_1(TO)$ », грамотнее было бы написать «в спектре КР поляризации, где активны фононы с неприводимым представлением (НП) $A_1(TO)$ ».

4. В автореферате отсутствует определение физических величин ϵ_1 и ϵ_2 .


Вышеприведённые замечания не влияют на ценность диссертационной работы Д.В. Панькина, которая полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам автор – Д.В. Панькин, несомненно, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Рогинский Евгений Михайлович, 
Старший научный сотрудник Лаборатории Спектроскопии твердого тела,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
кандидат.физ.-мат.наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.
194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26, ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Тел. 8(812)-292-91-74, E-mail: e.roginskii@mail.ioffe.ru

Подпись Рогинского Е.М. удостоверяю
Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе
доктор физ.-мат. наук, профессор

8.05.2018г.




А.П. Шергин