

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

СПбГУ

С. В. Микушев



» сентября 2022

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

- федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский Государственный Университет»
на диссертационную работу

ЕЛИСЕЕВА ИЛЬИ АЛЕКСАНДРОВИЧА

«КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА

И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В ДВУМЕРНЫХ

И КВАЗИДВУМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ ГРАФЕНА, ДИСУЛЬФИДА

МОЛИБДЕНА И НИТРИДОВ МЕТАЛЛОВ ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.8 — физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Ильи Александровича Елисеева посвящена экспериментальным исследованиям колебательных и электронных свойств 2D структур графена и MoS_2 , а также квази-2D структур - сверхрешеток GaN/AlN с периодами в несколько монослоев. Исследования направлены на выявление механизмов, определяющих природу этих свойств, и разработку новых методик оптической диагностики таких структур, в том числе для развития технологий их формирования, что, несомненно, подтверждает **актуальность** проведенных исследований.

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Список работ автора содержит 10 статей в рецензируемых журналах.

Во Введении показана актуальность избранной темы диссертации, а также решаемых в ее рамках задач. Сформулированы цель диссертационной работы, основные положения, выносимые на защиту, и отражен личный вклад автора. Приведен список конференций, семинаров и симпозиумов, на которых в докладах автора была проведена апробация работы.

Первая глава посвящена описанию методик исследования на экспериментальных установках, предназначенных для измерения спектров комбинационного рассеяния света (КРС) и фотолюминесценции (ФЛ) в широком диапазоне спектров, температур и энергий возбуждения, а также для измерения спектров ФЛ с временным разрешением. Кроме того, описаны установка для изготовления структур на основе двумерных материалов методом микромеханического отслаивания и программное обеспечение, разработанное для обработки больших спектральных массивов, полученных при картировании образцов.

Во второй главе приводятся результаты комплексных исследований пленок монослойного графена, сформированных методом термодеструкции Si-границ подложек 4H- и 6H-SiC (Gr/SiC).

В третьей главе приводятся результаты исследования экситонного излучения в монослоях и бислоях MoS₂, одного из активно изучаемых материалов из семейства дихалькогенидов переходных металлов

В четвертой главе описаны результаты экспериментальных и теоретических исследований "бозонного" пика, связанного с нанокластерами Ga, в спектрах КРС короткопериодных сверхрешеток GaN/AlN и твердых растворов AlGaN.

Диссертация содержит большое количество новых результатов, из которых в качестве основных можно выделить следующие результаты:

1. Впервые показано, что для правильной оценки концентрации электронов и значений деформации в графене по данным спектроскопии КРС, необходимо учитывать величину скорости Ферми электронов в графеновом слое не только на подложке SiC, но и при использовании любых других подложек.

2. Установлены оптимальные параметры отжига буферного слоя углерода на поверхности SiC, при которых происходит его превращение в слой

квазисвободного графена, менее деформированного, чем графен, выращенный на SiC.

3. Показано, что интеркаляция Co, Si, Fe и Mn также приводит к уменьшению величины деформации в графене и возникновению одномерных структурных дефектов (дополнительных границ кристаллитов). Кроме того, при интеркаляции Co и Si образуются структуры графен/CoSi/SiC, обладающие ферромагнитными свойствами и поэтому имеющие перспективы для спинтроники.

4. Определена структура экситонных уровней в монослойном и бислойном MoS₂.

5. В спектрах короткопериодных CP GaN/AlN и твердых растворов AlGaN, обнаружен асимметричный низкочастотный пик высокой интенсивности. Разработана теоретическая модель для объяснения его природы, как результата колебаний кластеров Ga с размерами порядка 1 нм.

Достоверность результатов, полученных в научно-квалификационной работе, подтверждается их комплексностью и необыкновенной полнотой, внутренней согласованностью больших массивов результатов, полученных разнообразными оптическими методами и методами исследования структуры изученных объектов, хорошим согласованием результатов моделирования с экспериментальными, а также согласием с ранее опубликованными результатами других исследователей.

Научная и практическая значимость результатов диссертации обусловлена тем, что в ней созданы и успешно применены диагностические методики с использованием спектроскопии КРС, способствующие:

оптимизации технологических параметров термодеструкции SiC;

оценке концентрации электронов и величины деформации в графене с учетом скорости Ферми;

априорной оценке интенсивности ФЛ и характерных времен ее затухания в атомарно-тонких слоях MoS₂ при различных уровнях деформации;

обнаружению нанокластеров Ga в короткопериодных CP GaN/AlN и слоях AlGaN, выращенных в Ga-обогащенных условиях.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту, обладают безусловной научной новизной. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и содержит решение задачи разработки по данным спектроскопии КРС методик оценки качества и оптимизации технологических параметров с целью формирования обладающих заданными свойствами и высоким структурным совершенством образцов, принадлежащих к широкому кругу материалов, которая имеет значение для развития соответствующей отрасли знаний. Результаты работы полностью и своевременно опубликованы в 11 рецензируемых научных изданиях, включая Physical Review B, Physica Status Solidi - Rapid Research Letters, ЖЭТФ, ФТП и ФТТ, прошли апробацию в форме докладов и обсуждений на российских и международных конференциях и семинарах.

Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

- 1) Имеется ли корреляция между краями моноатомных ступенек на подложках карбида кремния и переходами между слоями графена с разным числом атомных слоев? Если такой корреляции не имеется, то наблюдались ли в области изломов слоев графена изменения в спектрах КРС, вызванные теми же причинами, которые приводят к подробно обсуждавшимся в пункте 3.3 изменениям в спектрах ФЛ слоев MoS_2 , выращенных на профилированных подложках?
- 2) Форма дисперсионного контура, представленного на рис. 2.8 (а), в непосредственной близости к К-точке зоны Бриллюэна выглядит слегка отличающейся от сечения дираковского конуса, хотя в тексте конус, наблюдавшийся для этого образца, описан, как нерасщепленный. Чем объясняется эта разница?
- 3) Количественная оценка расщепления экситонных состояний в атомарно тонких слоях дихалькогенидов переходных металлов сделана весьма косвенным методом, и этот результат может оказаться сильно зависящим от теоретической модели, примененной в таком случае.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать для использования в научных и учебных организациях, в которых ведутся исследования по сходной тематике: в Санкт-Петербургском Государственном Университете, Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова, Физическом институте РАН им. П.Н. Лебедева, Институте физики твердого тела РАН (г. Черноголовка), Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова, а также других вузах и научно-исследовательских институтах.

Заключение

Считаем, что диссертационная работа Елисеева Ильи Александровича «Комбинационное рассеяние света и фотолюминесценция в двумерных и квазидвумерных структурах графена, дисульфида молибдена и нитридов металлов третьей группы» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 "Физика конденсированного состояния" согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Елисеев Илья Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа Ильи Александровича Елисеева заслушана и обсуждена на совместном научном семинаре кафедры физики твердого тела и лаборатории «Оптика спина» имени Игоря Николаевича Уральцева Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» 24 мая 2022. На все вопросы, возникшие во время обсуждения, были получены ответы.

Отзыв ведущей организации подготовили:

профессор с возложением обязанностей
заведующего кафедрой физики твердого тела СПбГУ,
доктор физико-математических наук

Вербин
Сергей Юрьевич

Тел.: 428-45-46

Эл. почта: s.verbin@spbu.ru

профессор кафедры физики твердого тела СПбГУ,
доктор физико-математических наук

Игнатъев
Иван Владимирович

Тел.: 428-48-40

Эл. почта: i.ignatiev@spbu.ru

Адрес организации:

Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург,
Университетская наб., д. 7/9

Тел.: 363-62-58

Эл. почта: science@spbu.ru

Веб-сайт: <http://spbu.ru/>