

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.136.01 (Д002.100.02),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО
ТЕЛА ИМЕНИ Ю.А. ОСИПЬЯНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.10.2021 № 37

О присуждении Муравьеву Вячеславу Михайловичу, гражданину России, ученой степени
доктора физико-математических наук

Диссертация «Релятивистские плазменные волны и новые плазмон-поляритонные
эффекты в двумерных электронных системах» по специальности 01.04.07 – физика
конденсированного состояния принята к защите 24.05.2021 (протокол заседания № 29)
диссертационным советом Д 002.100.02, созданном на базе Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Института физики твердого тела имени
Ю.А. Осипьяна Российской академии наук, 142432, г. Черноголовка, Московская область,
ул. Академика Осипьяна, д. 2, приказ Минобрнауки от 17.10.2019 № 965/нк.

Соискатель Муравьев Вячеслав Михайлович 19 октября 1984 года рождения, в 2007 году
окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет)», в 2010 году окончил аспирантуру Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Института физики твердого тела имени
Ю.А. Осипьяна Российской академии наук, диссертацию на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук «Интерференционные и поляритонные эффекты
для плазменных возбуждений в двумерных электронных системах» защитил в 2010 году, в
диссертационном совете, созданном на базе Федеральном государственном бюджетном
учреждении науки Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской
академии наук, работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном
бюджетном учреждении науки Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна
Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Лаборатории неравновесных электронных процессов
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики
твёрдого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Чаплик Александр Владимирович – академик РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор,
главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения
Российской академии наук

Хохлов Дмитрий Ремович – член-корреспондент РАН, д-р физ.-мат. наук, заведующий
кафедрой Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова)

Глазов Михаил Михайлович – член-корреспондент РАН, д-р физ.-мат. наук, ведущий
научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН) в своем положительном
заключении, подписанном Задковым Виктором Николаевичем – доктором физ.-мат. наук,
профессором, директором ИСАН, и Лозовиком Юрием Ефремовичем – кандидатом физ.-
мат. наук, профессором МФТИ, заведующим лабораторией спектроскопии наноструктур
ИСАН указала, что «В диссертационной работе Муравьева В.М. обнаружен целый ряд
новых физических явлений, который формирует отдельное научное направление –
двумерная плазмон-поляритоника», «Диссертация и автореферат написаны хорошим и
понятным языком. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.», «По
объему, научной и практической значимости полученных результатов, работа отвечает
требованиям пункта 9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного
Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемым к диссертациям
на соискание учёной степени доктора физико-математических наук, а ее автор Муравьев

Вячеслав Михайлович несомненно заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности: 01.04.07 – физика конденсированного состояния».

Соискатель имеет 57 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 40 работ в рецензируемых научных изданиях.

На автореферат диссертации поступило три отзыва, все положительные, в которых отмечается, что представляемая к защите работа выполнена на высоком научном уровне, результаты ее хорошо известны специалистам по физике низкоразмерных электронных систем, а также что по новизне, значимости и актуальности диссертация удовлетворяет всем требованиям Высшей аттестационной комиссии.

Кунцевич Александр Юрьевич (доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга Федерального государственного учреждения науки Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН). Отзыв на автореферат положительный. Имеется два несущественных замечания по тексту автореферата.

Каган Мирон Соломонович (доктор физ.-мат. наук, заведующий лабораторией электронных процессов в полупроводниковых материалах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова Российской академии наук). Отзыв на автореферат положительный. Замечаний нет.

Попов Вячеслав Валентинович (доктор физ.-мат. наук, главный научный сотрудник Саратовского филиала Института радиотехники и электроники (СФ ИРЭ) им. В. А. Котельникова Российской академии наук). Отзыв на автореферат положительный. Имеется одно уточняющее замечание по содержанию автореферата.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

Официальные оппоненты являются крупными специалистами в области физики двумерных электронных систем. Все оппоненты являются членами Российской академии

наук и имеют значительное число опубликованных работ в областях, общих по тематике с диссертацией.

Чаплик Александр Владимирович – академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, является одним из ведущих в мире специалистов-теоретиков в области плазменных и магнитоплазменных явлений в двумерных электронных системах. В рамках изучения двумерных электронных систем А.В. Чаплик провел исследования некоторых аспектов коллективной динамики возбужденных электронов. Так, им изучен феномен вигнеровской кристаллизации, решена задача о плазменных колебаниях в тонких плёнках и установлена их связь с акустическими волнами. А.В. Чаплик занимался также исследованиями кинетических и оптических характеристик тонкослойных твердотельных объектов. Проведенные А. В. Чапликом работы стали одной из основ нового раздела в области физики твердого тела — физики низкоразмерных систем.

Хохлов Дмитрий Ремович – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, является известным в мире специалистом в области физики полупроводниковых наноструктур. Д.Р. Хохлов получил ряд новых результатов, имеющих фундаментальное значение для физики полупроводников: гигантское отрицательное магнитосопротивление, СВЧ резонанс задержанной фотопроводимости, новые детекторы терагерцового излучения.

Глазов Михаил Михайлович - член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, известный в мире специалист в области теоретической физики полупроводниковых наноструктур, а также спиновых и кинетических явлений. В частности, в его работах была создана теория влияния электрон-электронного взаимодействия на спиновую релаксацию в полупроводниках. Создана теория спиновой динамики экситонных поляритонов в квантовых микрорезонаторах, предсказан и обнаружен оптический аналог спинового эффекта Холла. М.М. Глазовым создана теория нелинейных транспортных эффектов в графене и открыт динамический циркулярный эффект Холла.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН) – является одним из крупных и наиболее авторитетных в России исследовательских центров, в которых проводятся экспериментальные и теоретические исследования в области спектроскопии

твердотельных наноструктур и конденсированных сред. Институт занимает лидирующие позиции в мире по плазмонике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана новая оптическая методика детектирования плазменных резонансов в низкоразмерных электронных системах. Новая методика основывалась на высокой чувствительности спектра люминесценции двумерных электронов к резонансному разогреву. Важным достоинством разработанной методики является неинвазивность, что делает ее одним из наиболее деликатных методов исследования коллективных и одночастичных возбуждений в полупроводниковых наноструктурах.

Введен и экспериментально обнаружен новый класс плазменных возбуждений в двумерной электронной системе – «проксимити» плазмоны (proximity plasmons). Данный тип плазменных волн наблюдается в двумерной электронной системе (ДЭС) частично экранированной металлическим затвором. Оказалось, что новое семейство плазменных возбуждений обладает рядом уникальных физических свойств. Во-первых, спектр «проксимити» плазмонов зависит от геометрических параметров затвора и расстояния между ним и ДЭС. Во-вторых, у «проксимити» плазменных мод отсутствует краевая ветвь и они находятся по частоте гораздо ниже чем обычные двумерные плазмоны, возбуждаемые в тех же полупроводниковых наноструктурах. Наконец оказалось, что в случае, если затвор соединен с двумерной системой внешней цепью, то в системе возбуждается «заряженная» релятивистская плазменная мода, обладающая аномально малым затуханием.

Доказано, что в режиме целочисленного квантового эффекта Холла существует новое семейство акустических краевых магнитоплазменных возбуждений. Обнаружено, что число акустических магнитоплазменных мод в двумерной электронной системе равно числу несжимаемых полосок на краю образца. Показано, что при понижении температуры в двумерных электронных системах могут возникать дополнительные акустические краевые магнитоплазменные моды, связанные со спиновыми щелями в энергетическом спектре системы. Установлено, что важной особенностью является то, что размер области краевого обеднения двумерной электронной системы имеет первостепенное значение для наблюдения акустических краевых магнитоплазменных мод.

Доказано, что в высококачественных гетероструктурах AlAs/AlGaAs с сильной анизотропией эффективных масс в плоскости AlAs квантовой ямы, спектр двумерных

плазменных возбуждений имеет ряд уникальных особенностей. Во-первых, для абсолютно симметричных образцов в форме диска в нулевом магнитном поле в плазмонном спектре наблюдается щель. Во-вторых, плазмонный спектр претерпевает нетривиальное изменение при перераспределении носителей заряда между различными долинами. Из значений плазменных частот было установлено, что величины эффективных масс электронов в X_x и X_y долинах AlAs вдоль основных кристаллографических осей составляют $m_l = (1.10 \pm 0.05) m_0$, $m_{tr} = (0.20 \pm 0.01) m_0$.

Доказано, что в AlAs квантовых ямах с шириной 6 нм происходит Γ - X энергетический переход, когда X_x - X_y и X_z долины меняются местами в шкале энергий. Для этого проведено исследование поведения плазменных и магнитоплазменных возбуждений в высококачественных AlAs квантовых ямах с различной шириной (4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 и 15 нм).

Экспериментально определён ранее описанный теоретически спектр плазменных и магнитоплазменных возбуждений в двумерных электронных системах с близко расположенным задним и латеральным затвором. Установлено, что наличие хорошо проводящего затвора приводит к значительному уменьшению частоты плазменных волн и модификации их спектра из корневого в линейный. Исследована зависимость наблюдаемого «смягчения» частоты плазмона от геометрических размеров ДЭС, а также взаимного расположения ДЭС и затвора. Исследованы эффекты запаздывания для экранированных задним затвором плазмон-поляритонов.

Предложен экспериментальный подход для возбуждения «темных» осесимметричных плазменных возбуждений в одиночных дисках двумерных электронов. Методика основана на том, что электромагнитное излучение подводится к образцу по волноводу со встроенным оптоволоконным световодом, который формирует вблизи своего конца локально неоднородное электромагнитное поле. При помощи разработанной методики проведены исследования

физических свойств (дисперсия и затухание) обнаруженных темных плазменных мод. Установлено отличное согласие экспериментальных результатов с имеющейся теорией. Исследовано проявление эффектов запаздывания для «темных» плазменных возбуждений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Изучены спектры двумерных плазменных возбуждений в частично экранированных двумерных электронных системах. Это привело к тому, что совместно с группой теоретиков из ИРЭ РАН под руководством В.А. Волкова была разработана подробная теория для описания нового семейства «проксимити» и релятивистских плазменных мод. Теория оказалась в отличном согласии с экспериментом. Также исследование новых

плазмон-поляритонных эффектов привело к созданию нового теоретического формализма для описания взаимодействия света с двумерной плазмой.

Применительно к проблематике диссертации результативно использована одна из наиболее эффективных методик исследования микроволнового отклика двумерных электронных систем – оптическая методика.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Разработан новый метод детектирования электромагнитного излучения терагерцового частотного диапазона (0.1 – 1 ТГц). Метод основан на преобразовании электромагнитного излучения в плазменную волну, распространяющуюся в канале полупроводниковой наноструктуры. Разработаны особые методы выпрямления переменного потенциала плазменной волны в детектируемый сигнал фото-ЭДС. По результатам данных работ был получен патент РФ 2697568, признанный Федеральной службой по интеллектуальной собственности одним из «100 лучших изобретений России за 2019 год и первое полугодие 2020 года».

Реализован плазмонный интерферометр, который по Фурье-преобразованию осцилляций фотонапряжения как функции концентрации носителей заряда в двумерной электронной системе позволяет определять спектр терагерцового излучения. Таким образом, разработанную и изготовленную структуру можно использовать как «спектрометр-на-чипе» для излучения микроволнового и терагерцового диапазона частот. Данные практические результаты были защищены соискателем патентами РФ 2402749 и 2401479.

Достоверность полученных результатов обеспечивается:

корректностью постановки исследовательских задач;

использованием экспериментальных методик, являющихся адекватными и эффективными для изучения рассматриваемых явлений (копланарно-трансмиссионная методика для измерения высокочастотной проводимости и микроволновой спектроскопии двумерных электронных систем);

сопоставлением результатов эксперимента с теоретическими предсказаниями в тех случаях, когда такие предсказания существуют (например, для дисперсии «проксимити», экранированных, акустических и «темных» плазменных возбуждений);

апробацией результатов путем их публикации в ведущих международных рецензируемых научных журналах, докладов на российских и международных конференциях и семинарах, обсуждения на семинарах в кругу специалистов.

Личный вклад соискателя состоит в выдвижении идей новых научных концепций,

постановке задач, выборе используемых экспериментальных методик, планировании и проведении экспериментов, а также анализе полученных экспериментальных данных. Также соискатель подготовил и опубликовал 40 публикаций по теме диссертационной работы в ведущих рецензируемых журналах, а также представил результаты работы на многочисленных конференциях и семинарах. За научно-практические результаты, изложенные в диссертации, соискатель был награжден Государственной премией в области науки и инноваций им. В. Зворыкина, а также премией губернатора Московской области в сфере науки и инноваций для молодых ученых и специалистов.

На заседании 25 октября 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Муравьеву В.М. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 26 человек, из них 26 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 25, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук

27 октября 2021



Левченко Александр Алексеевич

Курлов Владимир Николаевич