

ОТЗЫВ

Официального оппонента о диссертационной работе Пошакинского Александра Валерьевича «Электронная спиновая динамика и корреляционные эффекты в полупроводниковых наносистемах», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Диссертация Александра Валерьевича Пошакинского посвящена теоретическому исследованию спиновой динамики, спин-гальванических и поляризационно-зависимых оптических эффектов в полупроводниковых структурах с квантовыми ямами, квантовыми точками и спиновыми центрами.

Актуальность диссертационной работы А.В. Пошакинского не вызывает сомнений. Исследования спиновой динамики в настоящее время вызывают интерес как с точки зрения фундаментальной физики, так и с точки зрения применения методов, разработанных в области спинтроники, для хранения и обработки информации. Основными задачами спинтроники являются поиск эффективных оптических и электрических способов управления спинами носителей и магнитными свойствами вещества. На поиск таких возможностей и ориентированы исследования, результаты которых представлены в диссертации А.В. Пошакинского.

Диссертация состоит из введения, пяти содержательных глав и заключения. Список литературы, помимо списка работ автора, вошедших в диссертацию (9 работ, включая 8 статей в журналах «Письма в ЖЭТФ», Physical Review A, Physical Review B, Physical Review X), содержит 133 наименования.

В первой главе диссертации представлено теоретическое описание динамики неравновесной спиновой поляризации двумерного электронного газа в условиях оптической ориентации. Исследована спиновая релаксация электронов в квантовых ямах с сильным спин-орбитальным взаимодействием в магнитном поле, а также в случае анизотропного рассеяния. Представлена разработанная автором микроскопическая теория спиновой релаксации электронов в асимметричных квантовых ямах (110) с однородным полем Рашбы и в номинально симметричных ямах с пространственно флуктуирующим полем Рашбы. Исследованы условия замедления спиновой релаксации и увеличения полного электронного спина.

Во второй главе развита теория распространения спиновых флуктуаций в двумерном электронном газе. Показано, что корреляционные функции спиновой плотности содержат информацию о параметрах спин-орбитального взаимодействия и спинового транспорта.

Третья глава посвящена исследованию методов создания и детектирования спиновой поляризации двумерного электронного газа. В ней развита теория оптической ориентации и генерации нестационарных фототоков в квантовых ямах последовательностью линейно поляризованных импульсов света. Кроме этого, в главе 3 описан эффект дрожащего движения электрона и ансамбля поляризованных по спину электронов в системе со спин-орбитальным взаимодействием во внешнем магнитном поле и проанализирован дополнительный динамический вклад в спин-гальванический ток, возникающий вследствие когерентно дрожащего движения поляризованных по спину электронов.

В главе 4 теоретически описана тонкая структура состояний локальных центров со спином $3/2$ в гексагональном политипе карбида кремния. Построен эффективный спиновый гамильтониан, рассчитана структура электронных уровней во внешнем магнитном поле, изучены переходы между подуровнями под действием радиочастотного магнитного поля. Объяснены особенности, наблюдающиеся в экспериментальных спектрах магнитного резонанса.

В главе 5 рассмотрено влияние биекситонного резонанса на транспорт фотонов через ансамбли квантовых точек в волноводах и микрорезонаторах. Установлено, что наличие биекситонного резонанса оказывает существенное влияние на величину корреляционной функции второго порядка прошедших фотонов.

Достоверность результатов, полученных в диссертации, подтверждается внутренней непротиворечивостью результатов, использованием современного аппарата теоретической физики и методов симметричного анализа, сопоставлением полученных результатов с экспериментальными данными.

Научная новизна и практическая значимость этих результатов обусловлена тем, что в диссертации впервые:

описан аномальный эффект Ханле в двумерном электронном газе с сильным спин-орбитальным взаимодействием; теоретически описана динамика электронов в двумерных системах с анизотропным рассеянием; развита микроскопическая теория спиновой релаксации электронов в асимметричных квантовых ямах с однородным и с пространственно флуктуирующим полем Рашбы; построена теория пространственно-временных флуктуаций спиновой плотности в двумерном электронном газе со спин-орбитальным взаимодействием в

баллистическом и диффузионном режимах транспорта электронов; предсказан эффект дрожащего движения электронов в структурах с линейным по волновому вектору спин-орбитальным расщеплением спектра во внешнем магнитном поле и рассчитан нестационарный спин-гальванический ток, обусловленный когерентным дрожащим движением ансамбля поляризованных электронов; установлена тонкая структура дефектов со спином $3/2$ в карбиде кремния; впервые рассчитана матрица рассеяния пары фотонов в микрорезонаторе с ансамблем квантовых точек и продемонстрирована возможность реализации фотонной блокады.

Развитые в диссертации оригинальные теоретические методы и подходы могут быть использованы для количественного описания разнообразных оптических и фотогальванических явлений в двумерных электронных системах. В частности, описанные особенности тонкой структуры дефектов в карбиде кремния могут быть использованы для разработки методов точной магнитометрии. Теория спиновых флуктуаций может заложить основу нового слабо возмущающего метода изучения спиновых волн и процессов спиновой диффузии. Результаты диссертации А.В. Пошакинского могут быть рекомендованы к использованию в организациях, проводящих исследования в области физики полупроводников и физики конденсированных сред, например, МГУ, СПбГУ, ИФТТ РАН, ИФП СО РАН и др.

Диссертация А.В. Пошакинского написана ясным языком и содержит достаточное количество иллюстраций. В ней четко сформулированы цели и задачи исследования, достаточно полно описаны использованные теоретические методы и изложены полученные результаты.

По диссертации есть несколько замечаний:

1. В разделе 2.3.3 главы 2 рассматривается пространственная анизотропия коррелятора спиновых флуктуаций, вызванная анизотропией спинового расщепления (например, когда отличны от нуля и слагаемое Рашбы, и слагаемое Дрессельхауза). Может ли анизотропия рассеяния, подобная рассмотренной в разделе 1.4 первой главы, также приводить к появлению пространственной анизотропии коррелятора спиновых флуктуаций?
2. В главе 4 подробно обсуждается тонкая структура состояний в локальном центре в одном из политипов карбида кремния. Было бы интересно хотя бы кратко проанализировать тонкую структуру в других политипах карбида кремния.

3. Не вполне ясно, как глава 5 связана с остальными главами диссертации.

Сделанные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку диссертации. Автором проведена большая теоретическая работа, основные результаты которой прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в ведущих российских и международных журналах. Автореферат и опубликованные статьи правильно и полно отражают содержание диссертации.

Диссертационная работа А.В. Пошакинского является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение новой научной задачи о теоретическом описании спиновой динамики в квантовых ямах, квантовых точках и локальных центрах.

Считаю, что по актуальности темы, новизне полученных результатов, научной и практической значимости диссертационная работа А.В. Пошакинского «Электронная спиновая динамика и корреляционные эффекты в полупроводниковых наносистемах» полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Пошакинский Александр Валерьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

5 декабря 2017 г.

Югова Ирина Анатольевна,
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры физики твердого тела
физического факультета
Санкт-Петербургского Государственного Университета
198504 Санкт-Петербург, Петродворец, ул. Ульяновская д. 1
i.yugova@spbu.ru
Тел: +78124284546