

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заместителя декана
Физического факультета СПбГУ

(должность)


(подпись)

А. В. Титов

(инициалы, фамилия)

«29» 10 2024

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

По итогам рассмотрения и обсуждения Диссертации Рыбкина Артема Геннадиевича, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по теме: «Синтез и электронная спиновая структура квазидвумерных систем с комбинацией спин-орбитального и магнитного обменного взаимодействий» по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и выполненной в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра электроники твердого тела, год представления 2024, а также представленных соискателем научных публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, приняты следующие решения, замечания и рекомендации:

Актуальность исследования по теме диссертации обусловлена необходимостью детального анализа и разработки фундаментальных основ современной спинтроники, а также поиска практических подходов для формирования высококачественных систем на основе новых квазидвумерных материалов, таких как тонкие слои металлов, графен и топологические изоляторы, в которых в максимальной степени проявляются уникальные свойства, обеспечивающие совместное усиление спин-орбитального и магнитного обменного взаимодействий, важных как для современной физики конденсированного состояния, так и прикладного использования результатов исследования. Особенности электронной и спиновой структуры приводят к проявлению эффектов, пригодных для практического использования в устройствах спинтроники, таких как эффект Рашбы, квантовые эффекты Холла, двумерный фотовольтаический эффект, эффекты спинового переноса. Использование спин-поляризованных токов для хранения и обработки данных не только повысит энергоэффективность, но и быстродействие таких устройств. Одним из аспектов работы является поиск методов синтеза квазидвумерных систем на основе графена на полупроводниковой подложке SiC, совместимых с промышленным производством в масштабе монокристаллической пластины.

Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Обнаружены спин-поляризованные поверхностные резонансы монокристалла W(110) с линейной дисперсией и спиновой структурой, характерной для топологических поверхностных состояний. Показана возможность передачи

- сильного спин-орбитального взаимодействия подложки W(110) квантовым электронным состояниям в ультратонком слое Al вплоть до 15 монослоев.
2. Разработаны способы формирования высокоориентированного графена при повышенных температурах методом химического парофазного осаждения на Co(0001)/W(110) и на Pt(111).
 3. Обнаружен гигантский эффект Рашбы, приводящий к индуцированной спиновой поляризации электронных состояний в графене при его контакте с интеркалированными слоями благородных металлов (Au, Pt), необходимый для конструирования спиновых устройств (в частности, в конструкции запатентованного в рамках работы графенового спинового фильтра).
 4. Разработана модель графенового устройства записи информации для магниторезистивной памяти с использованием эффекта спин-орбитального крутящего момента для переключения магнитных состояний (хранения данных).
 5. Синтезирован магнитно-спин-орбитальный графен на поверхности Co(0001) с интеркалированным слоем золота, в котором намагничивание подложки кобальта приводит к асимметричному спиновому расщеплению состояний графена в противоположных K точках зоны Бриллюэна.
 6. Обнаружено ферромагнитное упорядочение на двух подрешетках магнитно-спин-орбитального графена и предсказан эффект Холла с использованием циркулярного дихроизма. Разработано устройство для прямого детектирования циркулярно-поляризованного излучения в среднем ИК диапазоне.
 7. Для магнитно-допированных тройных топологических изоляторов методом "накачка-зондирование" обнаружен 2D фотовольтаический эффект, величина которого зависит от положения точки Дирака относительно уровня Ферми и края валентной зоны, важный для разработки солнечных элементов и оптоэлектронных логических устройств в области видимого и ИК излучения.
 8. Для магнитно-допированных полупроводников BiTeI с различными концентрациями магнитных примесей показан немонотонный характер изменения величины запрещенной зоны с увеличением концентрации примеси.
 9. Показано, что интеркаляция атомов Pt или Co под нулевой слой углерода на монокристалле SiC(0001) приводит к трансформации нулевого слоя в монослой графена. В результате интеркаляции Co происходит формирование квазисвободного монослойного графена на магнитном ультратонком слое силицидов кобальта со стехиометрией CoSi/CoSi₂. Обнаружено, что ферромагнитное упорядочение магнитных моментов в плоскости поверхности синтезированной системы обусловлено слоем CoSi. Для графена, интеркалированного атомами Pt, обнаружено спин-орбитальное расщепление типа Рашбы π электронных состояний, аномально высокое для изолированного графена и ранее экспериментально не достижимое в графеновых системах.
 10. Разработан новый способ синтеза эпитаксиального нанотонкого сплава Pt₅Gd посредством интеркаляции атомов Gd под графен, перспективного для производства катализаторов.

Научная и практическая значимость работы состоит в разработке методов синтеза квазидвумерных систем на основе графена, теллуриодида висмута и топологических изоляторов с включением атомов благородных и магнитных металлов, приводящих к функционализации электронных свойств для применения в наноэлектронике и спинтронике.

1. Разработаны модели усовершенствованного графенового спинового фильтра, который может быть использован в качестве средств обработки и передачи информации, а также устройства записи информации для магниторезистивной памяти SOT-MRAM, работающего без использования внешнего магнитного поля, в

котором монослои металлов повышают спин-орбитальное взаимодействие в графене, тем самым существенно улучшают рабочие характеристики ячейки запоминающего устройства оперативной памяти.

2. На основе ферромагнитного графена при его контакте с тяжелыми и магнитными металлами разработано устройство для прямого детектирования циркулярно-поляризованного излучения в среднем инфракрасном диапазоне, которое может быть использовано в оптоэлектронных интегральных микросхемах.

3. Исследованный в работе двумерный фотовольтаический эффект в магнитно-допированных топологических изоляторах может быть применен в оптоэлектронных логических устройствах или в устройствах преобразования энергии видимого и инфракрасного излучений в электрический ток.

По результатам исследований предложено 3 патента по моделям устройств спинтроники и нанoeлектроники, что позволяет говорить о высоком потенциале прикладного применения результатов исследований, изложенных в диссертационной работе.

Обоснованность и достоверность полученных результатов определяется соответствием с данными, полученными другими авторами, в том числе на основании опубликованных статей по теме диссертации, ссылки на эти работы приведены в диссертации. Высокая степень достоверности результатов обеспечивается их воспроизводимостью, использованием современного оборудования мирового уровня с применением широкого спектра взаимодополняющих методов, а также согласием с результатами теоретических расчетов.

Личный вклад автора диссертации заключается в постановке научных задач, создании и вводе в эксплуатацию уникальной научной установки, подготовке и проведении экспериментов, обработке и анализе данных, обсуждении полученных экспериментальных и теоретических результатов и их публикации в рецензируемых научных изданиях. Несмотря на то, что статьи автора опубликованы в соавторстве, все выносимые на защиту результаты были получены лично автором.

Апробация результатов подтверждена выступлениями автора на двенадцати международных и четырёх российских конференциях.

Публикации автора диссертации насчитывают 23 работы. Из них 18 относятся к списку Scopus и Web of Science. Автором опубликованы работы в журналах: Nature Communications, NanoLetters, Physical Review Letters, Physical Review B, Applied Surface Science, Nanotechnology, Scientific Reports, Symmetry, 2D Materials, New Journal of Physics, Письма ЖЭТФ и Физика твердого тела.

Диссертационное исследование Рыбкина Артема Геннадиевича «Синтез и электронная спиновая структура квазидвумерных систем с комбинацией спин-орбитального и магнитного обменного взаимодействий» соответствует паспорту научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и рекомендуется к защите на соискание научной степени доктора физико-математических наук

Нарушения со стороны Рыбкина Артема Геннадиевича
п. 11 Приказа СПбГУ от «19» ноября 2021 г. №11181/1

не выявлены

не выявлены, выявлены

и Приказа СПбГУ от 03.07.2023 № 9287/1

не выявлены

не выявлены, выявлены

Все основные выносимые на защиту научные материалы диссертации опубликованы в предложенных соискателем статьях.

Коллектив сотрудников кафедры электроники твёрдого тела Физического факультета СПбГУ

наименование подразделения

рекомендовал

рекомендовал / не рекомендовал / рекомендовал при условии устранения замечаний

диссертацию Рыбкина Артема Геннадиевича

ф.и.о. соискателя

по теме: «Синтез и электронная спиновая структура квазидвумерных систем с комбинацией спин-орбитального и магнитного обменного взаимодействий»

тема диссертации

к защите на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

ученая степень

по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

шифр и наименование научной специальности (научных специальностей)

При проведении голосования коллектива сотрудников кафедры электроники твёрдого тела (протокол заседания № 44/12/16-02-9 от 29 октября 2024 г.) в количестве 19 человек, участвовавших в заседании из 22 человека штатного состава:

Проголосовали «за»: 19, «против»: 0, «воздержались»: 0.

Профессор, заведующий кафедрой
электроники твердого тела

(должность)

Физический факультет СПбГУ

(наименование структурного подразделения)

доктор физ.-мат. наук

(ученая степень)

профессор

(ученое звание)

А. П. Барабан

29.10.2024

Расшифровка подписи, дата



29.10.2024

