

## ОТЗЫВ

научного консультанта диссертационной работы Рыбкина Артема Геннадиевича на тему «Синтез и электронная спиновая структура квазидвумерных систем с комбинацией спин-орбитального и магнитного обменного взаимодействий», представляемой на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

**Актуальность работы.** Диссертационная работа А.Г. Рыбкина посвящена изучению электронной спиновой структуры и магнитных свойств систем с линейным конусом Дираковских состояний на основе графена, топологических изоляторов и Рашба систем при контакте этих материалов с магнитными и тяжелыми металлами, приводящем к индуцированной модуляции спин-орбитального и магнитного взаимодействия в данных системах с целью формирования новых уникальных свойств и эффективного использования в спинтронике и квантовых вычислениях. Основными объектами исследования являются графен, синтезированный на поверхности монокристаллов переходных и магнитных металлов, а также топологические изоляторы при взаимодействии в магнитными металлами.

Важным аспектом работы, определяющим ее высокую актуальность и эффективность использования результатов исследований для практического применения, является разработка фундаментальных основ и практических подходов, обуславливающих синтез высококачественных систем на основе графена, топологических изоляторов и Рашба-систем, в которых в максимальной степени проявляются уникальные свойства, обусловленные комбинацией модулированного спин-орбитального и магнитного обменного взаимодействий, что обеспечивает проявление эффектов, пригодных для практического использования в современной спинтронике. Все это вместе с глубиной проведенного научного исследования и обуславливает высокую актуальность представленной диссертационной работы.

**Научная новизна.** При проведении исследований в рамках диссертационной работы был получен ряд принципиально новых научных результатов, среди которых можно выделить:

- а) обнаружение гигантского эффекта Рашбы, индуцированного в графене при контакте с интеркалированными слоями металлов с высоким атомным номером и приводящего к индуцированной спиновой поляризации электронных состояний графена, и возможность использования этого эффекта при конструировании спиновых устройств (в частности в конструкции запатентованного в рамках работы графенового спинового фильтра);
- б) разработана модель графенового устройства записи информации для магниторезистивной памяти с использованием исследованного эффекта спин-орбитального взаимодействия и спин-торк эффекта для переключения магнитных состояний (для хранения данных);
- в) с использованием разработанного метода высокотемпературного синтеза однодоменного графена и интеркаляции золота получен магнитно-спин-орбитальный графен на поверхности  $\text{Co}(0001)$ , в котором намагничивание подложки кобальта приводит к асимметричному спиновому расщеплению состояний графена в противоположных К точках зоны Бриллюэна;
- г) обнаружено ферримагнитное упорядочение на двух подрешетках магнитно-спин-орбитального графена, предсказан электрооптический эффект появления напряжения Холла различной полярности в зависимости от направления циркулярной поляризации падающего излучения и разработано устройство для прямого детектирования циркулярно-поляризованного излучения в среднем ИК диапазоне;
- д) для магнитно-допированных тройных топологических изоляторов методом “накачка-зондирование” обнаружен 2D фотовольтаический эффект, величина которого зависит от

расположения точки Дирака относительно уровня Ферми и края валентной зоны, важный для разработки солнечных элементов и оптоэлектронных логических устройств в области видимого и ИК излучения.

**Практическая значимость.** В рамках диссертационной работы Рыбкиным А.Г. 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, работающее без использования внешнего магнитного поля, где монослой металлов повышают спин-орбитальное взаимодействие в графене, тем самым существенно улучшают рабочие характеристики ячейки запоминающего устройства оперативной памяти.

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 схемах на микрометровом масштабе.

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

А.Г. Рыбкин является автором 80 печатных работ по специальности диссертации в периодических рецензируемых научных журналах, из которых в 18 работах изложены основные результаты, представляемые в рамках диссертационной работы.

**Научный потенциал.** А.Г. Рыбкин характеризуется блестящими научными и организаторскими способностями. Вместе с коллективом сотрудников лаборатории (при его определяющем участии) им была разработана концепция научного оборудования, а также организована закупка и ввод в эксплуатацию высококлассного научного оборудования, которое является основой функционирования РЦ «Физические методы исследования поверхности», первым руководителем которого он был достаточно долгое время. Его активное участие в проводимых совместных научных экспериментах, постановка задач исследований и тщательное проведение научных исследований и теоретических расчетов, позволяющих делать обоснованные заключения, очень высоко ценятся коллегами, которые постоянно обсуждают с ним свои результаты и принимают предлагаемые идеи для постановок новых экспериментов. Он обладает большим и успешным опытом для проведения успешных совместных исследований в ведущих российских и международных центрах научных исследований. Является активным участником выполнения научных проектов по госзаданию, а также руководителем и ответственным исполнителем в РНФ проектах.

**Характеристика педагогического потенциала** А.Г. Рыбкина. Будучи последнее время ведущим научным сотрудником в рамках проекта по госзаданию Рыбкиным А.Г. был подготовлен и прочитан курс лекций «Спектроскопические методы (нейтронные, оптические, диэлектрические и магнитные) при исследовании наноматериалов». Рыбкин А.Г. активно участвует в подготовке квалификационных работ бакалавров, магистрантов и аспирантов, а также и кандидатских работ. Он прекрасно учит студентов работать с современным научным оборудованием, формулировать и решать научно-исследовательские задачи, анализировать результаты экспериментальных исследований и готовить научные статьи для публикации в высокорейтинговых научных журналах, и доводить до высокого научного уровня их квалификационные работы и диссертации.

Оценивая работу А.Г. Рыбкина в целом, отмечаю большой объем и высокий научный уровень выполненной работы, актуальность исследований, высокую степень новизны материала, достоверность полученных данных и хорошую апробацию результатов научных исследований.

Считаю, что диссертационная работа Рыбкина А.Г. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

31 октября 2024г.

Доктор физико-математических наук, профессор  
Шикин Александр Михайлович



Адрес: ул. Ульяновская, д. 1, г. Петергоф, г. Санкт-Петербург, 198504, Россия

Телефон: 363 60 00 (доб. 9158)

E-mail: a.shikin@spbu.ru

Должность: профессор

Подразделение: кафедра Электроники твердого тела, физический факультет

Организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ)



31.10.2024

