Аннотация к циклу работ, выдвигаемых на конкурс на соискание премии СПбГУ за научные труды в категории «За вклад в науку молодых исследователей»
«Синтез и исследование перспективных систем на основе графена и полупроводников BiTeI для применения в спинтронике и наноэлектронике»

Рыбкина Анна Алексеевна,
к.ф.-м.н., младший научный сотрудник кафедры ЭТТ

Представляемый на конкурс цикл работ посвящен разработке фундаментальных основ и практических подходов для создания новых функциональных наноматериалов и систем на основе графена и полупроводников BiTeI с целью конструирования устройств спинтроники и наноэлектроники. Стремительное развитие спинтроники обусловлено решением актуальных проблем в области хранения и обработки информации, а также необходимостью создания элементной базы для квантовых вычислений. Необходимость энергоэффективной генерации и контролируемого управления спиновыми токами при комнатной температуре требует синтеза новых квантовых материалов и эпитаксиальных слоистых наноструктур, в которых будут реализованы такие эффекты, как квантовый спиновый и квантовый аномальный эффекты Холла, эффект Рашбы-Эдельштейна и эффект передачи спинового момента посредством спин-орбитального взаимодействия. В связи с этим особый интерес вызывают материалы, обладающие сильным спин-орбитальным и обменным взаимодействиями, что позволит взаимно преобразовывать зарядовые и спиновые токи, управлять спином электрона, а также реализовать описанные эффекты.

С точки зрения электронной структуры графен характеризуется низкой концентрацией и высокой подвижностью носителей заряда, нулевой запрещенной зоной и смешанным типом проводимости. Для эффективного использования в электронных устройствах необходимо иметь возможность управлять шириной запрещенной зоны, задавать тип проводимости и повышать концентрацию носителей заряда, стимулировать спиновое расщепление электронных состояний, управлять плотностью состояний вблизи уровня Ферми, а также формировать графен на неметаллической поверхности.

Для достижения поставленной цели Рыбкиной А.А. были проведены систематические исследования электронной и спиновой структуры графена на ферромагнитных (Ni, Co) и немагнитных (Pt, SiC) подложках, а также изучено влияние на электронную структуру интеркаляции под графен металлов различной природы (Au, Al, Gd, Co). Впервые обнаружен эффект гигантского расщепления Рашбы в графене на монослое Au, абсолютно не достижимый ранее в изолированном графене. Впервые синтезирован и исследован магнитно-спин-орбитальный графен на Au/Co(0001), который при взаимодействии с интеркалированными атомами золота и намагниченной подложкой кобальта не только сохраняет свои уникальные характеристики, но и перенимает свойства этих металлов – магнетизм и спин-орбитальное взаимодействие.

Для реализации магнитно-спин-орбитального графена на неметаллической подложке Рыбкиной А.А. была отработана методика синтеза буферного слоя графена на подложке SiC(0001) и проведено всестороннее исследование интеркаляции атомов магнитного металла Co под буферный слой. Было обнаружено, что интеркаляция атомов Co приводит к трансформации буферного слоя в монослой графена с формированием под ним ферромагнитного ультратонкого слоя силицида кобальта. Таким образом, Рыбкиной А.А. синтезирован квазисвободный графен, контактирующий с магнитной подложкой, и

сохраняющий при этом электронную структуру в виде конуса Дирака в области точки К, что является основой для дальнейшей реализации магнитно-спин-орбитального графена на полупроводниковой подложке.

По результатам проведенных исследований Рыбкиной А.А. разработаны модели электронных устройств на основе графена и его контакта с тяжелыми металлами (Au и Pt) – это усовершенствованный графеновый спиновый фильтр и устройство записи информации для магниторезистивной памяти SOT-MRAM, работающее без использования внешнего магнитного поля. Разработанное устройство графенового спинового фильтра предназначено для формирования групп поляризованных электронов с заданной ориентацией спина в устройствах твердотельной электроники, а также селекции и выделения таких электронов. Подобные устройства, позволяющие манипулировать спин-поляризованными электронами, могут быть использованы в качестве средств обработки и передачи информации в квантовых компьютерах. Другое перспективное применение графена было отражено Рыбкиной А.А. в устройстве записи информации для SOT-MRAM (магниторезистивная оперативная память с переносом спинового момента), где предлагается использовать графен и монослои металлов, которые повышают спин-орбитальное взаимодействие в графене и существенно улучшают рабочие характеристики ячейки запоминающего устройства оперативной памяти типа SOT-MRAM.

Разработан новый подход к синтезу эпитаксиального нанотонкого сплава Pt5Gd через интеркаляцию под графен для использования в наноэлектронике и катализе. Синтезированы нанотонкие эпитаксиальные сплавы PtxGd на поверхности монокристалла Pt(111), покрытые хорошо ориентированным графеном, и проведены исследования электронной и атомной структуры на разных этапах синтеза. Контроль допирования графена через изменение стехиометрии сплава открывает новые возможности в развитии современной электроники. Благодаря хорошо известной каталитической активности сплава Pt5Gd, синтезированная тонкопленочная система перспективна для производства катализаторов.

Рыбкиной А.А. проведены экспериментальные исследования систем нового типа на основе магнитно-легированных полупроводников BiTeI. Данные материалы обладают сильным спин-орбитальным взаимодействием, а магнитное взаимодействие индуцируется магнитной примесью. За счет влияния магнитных примесей в электронной структуре магнитно-легированного BiTeI обнаружено открытие локальной энергетической запрещенной зоны и изучена модуляция ее величины в зависимости от концентрации магнитных примесей и температуры. Открытие магнитной щели в магнитно-легированном BiTeI при повышенных температурах определяет возможность генерации и энергоэффективного транспорта спиновых токов в устройствах спинтроники.

Результаты исследований опубликованы в 8 статьях в высокорейтинговых журналах, в том числе Nano Letters, Scientific Reports, Physical Review B и др. Полученные результаты были представлены на 22 международных и российских конференциях. На основе проведенных научных исследований Рыбкиной А.А. получено 3 патента Российской Федерации (2016, 2018, 2019 г.г.).