

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Огорокова Михаила Сергеевича  
«Спин-термические эффекты в гибридных наноструктурах  
металл (полупроводник)/ферромагнитный диэлектрик»  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

Диссертационная работа М.С. Огорокова посвящена построению и исследованию математических моделей, описывающих гибридные структуры. Автор поставил перед собой три задачи, решению каждой из которых посвящена отдельная глава.

В первой главе развита линейная теория, описывающая спин-термические эффекты, реализующиеся в структуре металл/ферромагнитный диэлектрик такие как спиновый пампинг, спин-торк эффект, спиновая диффузия, и спиновый эффект Зеебека. В качестве математического аппарата автором выбран метод неравновесного статистического оператора (НСО), используя который получена система уравнений для средних плотностей  $z$ -проекции спина электронов проводимости и локализованных моментов. Найден явный вид кинетических коэффициентов, ответственных за реализацию различных эффектов, проведен их анализ.

Вторая глава посвящена исследованию предложенного автором метода спиновой накачки ферромагнетика, путем воздействия внешним электрическим полем (или полем звуковой волны) на электроны проводимости металла в гибридной структуре полупроводник/ферромагнитный диэлектрик. В основе предложенного метода лежит возможность передачи энергии от внешнего электрического поля (или поля звуковой волны) спиновой подсистеме электронов проводимости через кинетическую подсистему благодаря спин-орбитальному взаимодействию. Такого рода резонанс известен как комбинированный резонанс Рашбы. В работе вычислена мощность, поглощенная электронами проводимости и показано, что возбуждаемый при этом спиновый ток в ферромагнетике также проявляет резонансный характер.

Известно, что термоэлектрические эффекты сопровождаются возникновением различного рода потоков, таких как электронные, фононные, магнонные и т.д. Взаимодействие между потоками приводит к эффектам увлечения. Анализ эффектов увлечения в рассматриваемой структуре составляет содержание третьей главы. Исходя из анализа экспериментальных результатов по исследованию спинового эффекта Зеебека, автором был предложен и проанализирован новый подход к описанию эффекта увлечения в таких структурах. Основу предложенного метода составляет «модель трех потоков»: потока фононов, «термических» и «когерентных» магнонов, протекающих в системе металл/ферромагнитных изоляторов. Дано обоснование возможности разбиения магнонной системы на две подсистемы: когерентных и термических магнонов. Далее, используя метод НСО, строится система дифференциальных уравнений для плотностей импульса фононов и двух потоков магнонов. Проведен анализ системы уравнений для различных соотношений между дрейфовыми скоростями потоков. Показало, что поток когерентных магнонов может привести как к усилению, так и к ослаблению спинового тока.

Сформулированные в работе научные тезисы являются новыми, обоснованными и актуальными. Диссертация представляет собой оригинальное исследование и выполнена на высоком теоретическом уровне. Считаю, что диссертационная работа «Спин-термические эффекты в гибридных наноструктурах металл (полупроводник)/ферромагнитный диэлек-

трик» обладает научной новизной, практической значимостью и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а **Окороков Михаил Сергеевич** заслуживает присуждения научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Заведующий лабораторией  
теоретической физики Института физики  
им. Л.В. Киренского Сибирского  
отделения Российской академии наук  
- обособленное подразделение  
ФИЦ КНЦ СО РАН (г. Красноярск),  
д.ф.-м.н.

Д.М. Дзедбисашвили

Подпись Д.М. Дзедбисашвили заверяю:  
Ученый секретарь Института физики  
им. Л.В. Киренского Сибирского  
отделения Российской академии наук  
- обособленного подразделения  
ФИЦ КНЦ СО РАН,  
к.ф.-м.н.

А.О. Злотников

Дата: «29» октября 2018 г.

*с отзывом ознакомлен 06.11.2018*  
*Окороков М.С.*