

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Окорокова Михаила Сергеевича «Спин-термические эффекты в гибридных наноструктурах металл (полупроводник)/ферромагнитный диэлектрик», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 - физика магнитных явлений.

Диссертационная работа посвящена построению и исследованию математических моделей, описывающих спин-термические эффекты в гибридных наноструктурах металл (полупроводник) /ферромагнитный диэлектрик. Исследованием спинового токопереноса занимается спинтроника, изучающая возможности управления транспортными свойствами конденсированных сред с помощью использования спиновых степеней свободы. Изучение спинового эффекта Зеебека в непроводящих магнетиках гетероструктур немагнитный проводник/магнитный изолятор показало, что этот эффект не может быть описан в рамках стандартных подходов к термоэлектрическим эффектам. В непроводящих магнитных материалах реализация спинового эффекта Зеебека связана с возбуждением системы локализованных спинов (магноны). Таким образом, в отличие от проводящих кристаллов, в непроводящем магнетике мы имеем новый тип спинового тока - спин-волновой. При этом изучение спин-термических эффектов требует корректного описания температурного возмущения. Развитие микроскопической теории, описывающей спин-термические эффекты и позволяющей найти явный вид основных кинетических коэффициентов, представляется актуальной задачей.

Работа включает введение, четыре главы и заключение.

Во введении рассматривается актуальность данной работы, разъясняются основные понятия. Дано представление об основных наиболее важных эффектах, изучаемых в рамках спинтроники и спин-калоритроники. Кратко отмечены существующие подходы, используемые при теоретическом описании спин-термических эффектов.

В первой главе формулируется теория неравновесного статистического оператора (НСО), позволяющая связать микроскопическую теорию с макроскопически-

ми наблюдаемыми величинами – температура, химический потенциал, дрейфовые скорости.

Во второй главе вводится определение спинового тока и исследуется его протекание в системе нормальный металл/ферромагнитный изолятор при реализации спинового эффекта Зеебека. Найдены общие выражения для кинетических коэффициентов, описывающие такие эффекты как: спинновый пампинг, спин-торк эффект, спиновый ток, тензор диффузии; Получены выражения для частот релаксации магнонов.

Третья глава посвящена изучению впервые предложенного в диссертации метода динамической генерации спин-волнового тока, основанного на влиянии резонансного возбуждения электронов проводимости внешними полями в системе полупроводник/магнитный диэлектрик на генерацию спин-волнового тока в непроводящем ферромагнетике. В работе показано, что разработанный автором метод, приводит к резонансному возбуждению спин-волнового тока в магнитном диэлектрике, реализуемого в условиях резонансного возбуждения электронов проводимости, обусловленного их взаимодействием с переменным внешним полем при учете спин-орбитального взаимодействия.

Четвертая глава посвящена анализу спин-волнового тока в условиях реализации спинового эффекта Зеебека для систем металл/ферромагнитный изолятор. В результате анализа был сделан вывод о формировании в магнитной подсистеме диэлектрика двух магнонных потоков, состоящих из «термических» (медленных) и «когерентных» (быстрых) магнонов. Развита теория, описывающая эффекты увлечения в структуре металл/ферромагнитный изолятор в рамках предложенной и изученной модели трех потоков - двух магнонных и фононного.

Научная новизна. В качестве новых и наиболее важных результатов можно отметить следующие;

1. Впервые построена микроскопическая теория спин-термических эффектов, описывающая спиновую динамику в гибридных структурах, дающая единое описание таких спин-термических эффектов, как спиновая накачка, спин-вращательный эффект, диффузия и спиновый эффект Зеебека.

2. Предложен и изучен новый метод генерации спин-волнового тока в ферромагнитной части структуры полупроводник/ферромагнитный диэлектрик внешними электрическим полем или полем звуковой волны.

3. Рассмотрен новый подход описания эффектов увлечения в тех же структурах, основу которого составляет наличие в ферромагнитной области трех взаимодействующих (двух магннных и фононного) потоков.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания.

1) В работе не приводятся численные оценки, которые позволили проверить верность описания спин-термических эффектов в сравнении с экспериментальными данными.

2) В развитой теории нигде не фигурирует температура упорядочения магнитного диэлектрика T_c , т.е. при каких температурах ниже T_c возможно сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

3) Ограничиваясь записью общих выражений для кинетических коэффициентов в виде корреляционных функций, автор не раскрывает их явный вид. Хотя, возможно, это привело бы к значительному увеличению объема диссертационной работы. Наверное, анализ корреляционных функций и анализ эффектов, которые при этом могут быть исследованы, (спиновый торк-эффект, спиновый пампинг) можно высказать автору как пожелание для дальнейшей работы.

4) В название диссертации вместо исследуемых систем металл (полупроводник) /ферромагнитный диэлектрик следовало привести более широкий класс систем металл (полупроводник) /магнитный диэлектрик. В диссертации в качестве примера рассматривается система YIG/Pt (даются соответствующие ссылки), в которой YIG является ферромагнетиком.

Отмеченные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, ее научную и практическую значимость.

Диссертация и автореферат написаны ясным языком, оформлены согласно действующему ГОСТу. Содержание выполненной диссертационной работы и выводы из нее достаточно полно и точно отражены в автореферате.

Формулировка и содержание выводов соответствуют главным достижениям диссертации. Представленные в работе подходы к теоретическому описанию спин-

термических эффектов и метод генерации спин-волнового тока внешними полями являются новыми и представляют большой интерес для спинтроники.

Тема диссертации соответствует специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Таким образом, представленная к защите диссертация М.С. Огорокова является законченной научно-исследовательской работой. Полученные автором результаты актуальны, оригинальны, достоверны, имеют научную и практическую значимость. Защищаемые положения и выводы обоснованы, а поставленные в диссертации цели достигнуты. Работа соответствует требованиям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.13 № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам Михаил Сергеевич Огороков, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 - физика магнитных явлений.

Официальный оппонент,

ведущий научный сотрудник лаборатории статики и кинетики процессов ФГБУН

Институт металлургии УрО РАН,

доктор физ.-мат. наук

Валентин Яковлевич Митрофанов

620016 г. Екатеринбург, ул. Амундсе́на, д. 101

vyam@mail.ru

+7 (343) 232-91-56

Подпись доктора физ.-мат.наук В.Я.Митрофанова заверяю.

Ученый секретарь Института металлургии УрО РАН,

кандидат химических наук

Владислав Игоревич Пономарев

21 ноября 2018 г.



С уважением, Владимир Митрофанов

26.11.2018

В.С. Огороков М.С.

Митрофанов

Сведения об официальном оппоненте

ФИО: Митрофанов Валентин Яковлевич

Ученая степень, звание: доктор физ.-мат. наук, специальность 0.1.94.07– физика
твёрдого тела

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения Российской
академии наук

Занимаемая должность: ведущий научный сотрудник лаборатории статистики и кинетики
процессов

Почтовый адрес: г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 101, ИМЕТ УрО РАН

Телефон: (343)232-91-56, 8 (912) 633 97 22

E-mail: vyam@mail.ru

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация:

1. S.A. Uporov, V. Ya. Mitrofanov, O.M. Fedorova, A.M. Yankin. Influence of thermal processing on magnetotransport characteristics of $\text{NdSr}_2\text{Mn}_2\text{O}_{7+\delta}$. Materials Research Bulletin, 2015, V.7; p. 67.
2. A. M. Yankin, A.V. Fetisov, O. M. Fedorova, S.A. Uporov, V.Ya. Mitrofanov, Influence of oxygen non-stoichiometry on physical properties of $\text{NdSr}_2\text{Mn}_2\text{O}_{7+\delta}$. Journal of Rare Earths, 2015, V. 33, p. 282-288.
3. S. A. Uporov, V.Ya. Mitrofanov, O.M. Fedorova, A.Ya. Fishman. Magnetic properties of mechanically activated SmMnO_3 powders. Magnetic properties of mechanically activated SmMnO_3 powders. Journal of Material Science. 2013, 48(21) 7673-7678.
4. Estemirova S., Mitrofanov V., Kozhina G., Fetisov A. Phase relationship, structural and magnetic properties of Nd-deficient $\text{Nd}_{0.95-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_{2.93}$ (+/-) (δ) Journal of Magnetism and Magnetic Materials. V. 399. P. 32-40. 2016.
5. Uporov S., Estemirova S., Bykov V., Mitrofanov V. Magnetic Properties of Al-Gd-TM Glass-Forming Alloys// Metallurgical and Materials Transactions A-Physical Metallurgy and Materials Science. V. 47A. N 1. P. 39-47. 2016.
6. Estemirova S. Kh.; Mitrofanov V. Ya. The double superconducting transition in $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ //Ceramics International. V. 42 N 14 P. 16127-16131. 2016.
7. S. Estemirova, V. Mitrofanov, S.Uporov, G. Kozhina. Structural and magnetic properties, magnetocaloric effect in $(\text{La}_{0.7}\text{Pr}_{0.3})_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Mn}_{0.9}\text{Ti}_{0.1}\text{O}_{3+\delta}$ ($\delta = 0.03, 0.02, -0.03$)// Journal of Alloys and Compounds 751 (2018) 96-106.

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт металлургии Уральского отделения РАН
Института металлургии УрО РАН,
кандидат химических наук

21 ноября 2018 г.



Пономарев В. И.