

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе

Пойманова Владислава Дмитриевича

«Распространение, рассеяние и генерация спиновых волн в неоднородных магнитных структурах»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений

Диссертационная работа Пойманова В.Д затрагивает важные с фундаментальной и прикладной точки зрения вопросы в новом научном направлении физики конденсированного состояния – магноники, посвященной исследованию физических эффектов, возникающих в магнитных микро- и наноструктурах. Понимание механизмов и методов управления спин-волновыми возбуждениями в магнитных структурах может лежать в основе функционирования целого ряда новых устройств обработки информационных сигналов на принципах магноники.

Стоит отметить, что в период с 2010 по 2018 год вышло большое количество публикаций, направленных на исследования методов генерации и управления спиновыми волнами в магнитных микро- и наноструктурах. Традиционно в рамках физики полупроводников и физической электроники в качестве носителя информационных сигналов используют полупроводниковые материалы и электрические свойства носителей тока (электронов или дырок). Использование спина носителей тока позволит создать устройства электроники следующего поколения - спинтроники и магноники, с существенно улучшенными такими параметрами, как быстродействие, энергопотребление, меньшими пространственными размерами элементов. Основное внимание уделяется использованию спиновых волн (магнонов) в качестве носителей информационных сигналов в микро- и наноструктурах на основе магнитоупорядоченных материалов. Магнонные среды являются аналогами фотонных в области сверхвысоких частот. Работы в области магнонной спинтроники являются чрезвычайно актуальными, поскольку в перспективе позволят разработать новое поколение приборов и устройств передачи и обработки данных, функционирующих на микроволновых частотах с характеристиками, которые невозможно было получить ранее. В отличие от обычных СВЧ приборов спин-волновые или магнонные приборы имеют расширенные возможности, благодаря управлению свойствами с помощью внешнего магнитного поля и иных воздействий (например, акустических за счет магнитострикции). Более того многие полупроводниковые интегральные технологии могут легко совмещаться с устройствами на основе принципов магноники.

Все вышесказанное подчеркивает актуальность исследования диссертационной работы, состоящей из трех глав и изложенной на 116 страницах.

В первой главе представлен литературный обзор, касающийся современных исследований в области технологий производства устройств, использующих спиновые волны для передачи информации и обработки данных. Описан принцип действия простейших элементов, использующих однонаправленное возбуждение спиновых волн. По аналогии с оптикой предложено ввести в рассмотрение понятия магنونного показателя преломления (магنونного индекса), определяющего свойства неоднородных магнитных пленок как волноводов.

Вторая глава посвящена практически незатронутому в литературе вопросу о рассеянии спиновых волн границей раздела магнетиков. Перед этим необходимые для решения этой задачи граничные условия обобщены на случай наличия помимо однородного обмена других, в.т.ч. – релятивистских магнитных взаимодействий. Ценность полученного результата заключается в описании метода получения граничных условий, который при необходимости может быть распространен на другие случаи (например – наличия нескольких конкурирующих обменных взаимодействий).

Полученные граничные условия в дальнейшем были применены к задаче рассеяния спиновой волны границей раздела двух магнетиков. Было рассмотрено две таких задачи – рассеяние двусными ферромагнетиками и геликоидальной структурой. Установлено, что в каждом из этих случаев, в которых спиновая волна имеет эллиптическую поляризацию, неоднородные решения возникают одновременно с бегущими волнами (в отличие от фотоники), в то время как в одноосных ферромагнетиках такие волны отсутствуют. Соответствующие коэффициенты были получены из системы граничных условий. Следует отметить, что в работе было введено понятие импеданса спиновой волны. Равенство импедансов граничащих сред соответствует безотражательному режиму при некоторых соотношениях между их материальными параметрами.

Третья глава посвящена, в частности, исследованию возможности эмиссии относительно коротких спиновых волн, что может сдвинуть область рабочих частот в терагерцевый диапазон. Показано, что для этого можно использовать пространственно однородное поле накачки, которое создать намного проще, чем локализованное. Для этого заимствована идея Шлемана о возможности генерации спиновых волн неоднородностями пленки, в качестве которой предложено использовать границу раздела двух магнитных сред, которая имеет толщину порядка постоянной решетки. Получено, что основным механизмом, подтверждающим недавние экспериментальные наблюдения, является различие в магнитных восприимчивостях граничащих сред и наличие межслойной связи.

Проведен сравнительный анализ эффективности эмиссии для изолированной границы и слоя. В последнем случае можно увеличить ее более чем в два раза за счет возникающей конструктивной интерференции.

Кроме того – в третьей главе рассмотрена задача о взаимном влиянии функциональных элементов спинового клапана, обусловленном обменным взаимодействием. Рассчитано наблюдаемое экспериментально уширение линии поглощения свободного слоя вблизи поля переключения. Результат интерпретирован в рамках теории коллективных мод и заключается во взаимном влиянии слоев в формировании их параметров затухания. При этом ширины линий слоев, отличаясь почти во всем диапазоне полей почти в десять раз, вблизи поля переключения практически сравниваются по величине.

Резюмируя содержание работы, можно выделить главные научные результаты, полученные в работе:

1. Изложен метод получения граничных условий при наличии релятивистского неоднородного обменного взаимодействия, использующий решеточную модель с последующим переходом к континууму.

2. В материалах с нарушенной аксиальной симметрией прецессии намагниченности предсказано формирование поверхностных неоднородных спиновых волн.

3. На основании шлемановского механизма показана возможность генерации коротковолнового спинового излучения.

По работе имеются следующие замечания:

1. При рассмотрении процессов рассеяния обменных спиновых волн рассмотрено лишь нормальное их падение, что несколько ограничивает общность полученных результатов.

2. При обобщении граничных условий на случай наличия неоднородного обмена Дзялошинского учитывается также наличие поверхностной анизотропии, которая в дальнейшем нигде не используется.

В целом диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и производит положительное впечатление законченного научного исследования. Ее результаты могут быть полезными для научных работников, занимающихся магноники, а также в институтах, специализирующихся на изучении спинтроники и магноники. Степень обоснованности научных положений и достоверность полученных результатов подтверждаются использованием математического аппарата теории обыкновенных дифференциальных уравнений. Автореферат в полной мере отражает результаты диссертации.

По теме диссертации опубликовано 3 статьи в журналах, входящих в список ВАК, а также одна глава в коллективной монографии. Апробация результатов проводилась на шести международных конференциях.

Исходя из этого считаю, что диссертационная работа Пойманова Владислава Дмитриевича «Распространение, рассеяние и генерация спиновых волн в неоднородных магнитных структурах» соответствует требованиям п. п. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а её автор заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Кандидат физико-математических наук
(01.04.03 — Радиофизика 01.04.05 — Оптика),
доцент кафедры физики открытых систем факультета нелинейных процессов

Александр Владимирович Садовников

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»
410012, Российская Федерация, г. Саратов,
ул. Астраханская, 83
+79033868480, SadovnikovAV@gmail.com

«28» января 2019 г.