

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Калябина Дмитрия Владимировича «Невзаимные и резонансные эффекты при распространении спиновых и акустических волн в неоднородных структурах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Актуальность темы.

Диссертационная работа Калябина Д.В. посвящена решению актуальных задач физики конденсированного состояния, касающихся изучения особенностей распространения спиновых волн в магнетонных кристаллах и неоднородных магнитных волноводах, а также поверхностных акустических волн Лява в слоистой волноведущей структуре переменной толщины и в акустическом метаматериале. Интерес к таким исследованиям в настоящее время стимулируется необходимостью создания новых устройств обработки, передачи и хранения информации на новых физических принципах. Развитие технологий последних лет позволило создавать различного вида многослойные ферромагнитные структуры, а также одномерные и двухмерные пленочные магнитные микро- и наноструктуры, получившие название магнетонных кристаллов. Разнообразие дисперсионных свойств, низкий порог возникновения нелинейных процессов (порядка милливатт), а также слабая диссипация при распространении спиновых волн сделали тонкие эпитаксиальные пленки феррита железо-иттриевого граната (ЖИГ) удобной средой как для изучения спиновых волн, так и для разработки устройств СВЧ диапазона, сенсоров и др.

Исследования спиновых волн в магнитных периодических структурах начались в конце 70-х годов прошлого века и продолжаются до сих пор. В последнее десятилетие такие исследования ведутся наиболее интенсивно. Это стимулируется потребностью развития технологий, альтернативных полупроводниковой КМОП технологии. В случае магнитных материалов таким направлением является магнетоника. Магноны - это кванты спиновых волн. Создание интегральных элементов магнетоники, производящих операции с магнонами, а также спиновых микро- и нано-волноводов для организации соединений между магнетонными элементами, ограничивается не достаточно изученными свойствами

спиновых волн в таких структурах. Поэтому *тема диссертационной работы Калябина Д.В. несомненно является актуальной.*

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 149 наименований, и списка рисунков. Полный объем диссертации составляет 114 страниц текста с 38 рисунками. Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы основные цели работы и изложены основные положения, выносимые на защиту. В последующих главах приводится обзор состояния исследований в данной научной области, описываются теоретические подходы и численные методы, используемые в работе, приводятся результаты исследований. В заключении изложены наиболее важные результаты и выводы диссертационной работы.

Научная ценность и новизна.

Работа диссертанта посвящена исследованию особенностей распространения спиновых волн в одномерных и двумерных магнетонных кристаллах, а также исследованию распространения спиновых и акустических волн в нерегулярных волноводах. В частности, впервые были теоретически исследованы краевые вращательные магнетонные состояния, возникающие в нормально намагниченных двумерных магнетонных кристаллах, образованных из ферромагнитной пленки и набора цилиндрических включений из другого ферромагнетика, изучено влияние длины одномерного магнетонного кристалла на спектр спиновых волн, проведен анализ распределения магнитостатического потенциала в магнетонных кристаллах и в пленочных волноводах переменной толщины, изучены эффекты не взаимности при распространении спиновых волн в структурах с асимметричными граничными условиями. Для теоретических исследований спектров спиновых волн в перечисленных структурах использовались методы многократного рассеяния, метод разложения по плоским волнам и метод Галеркина.

Все полученные в диссертации результаты являются новыми. Среди полученных результатов на наш взгляд наиболее важными являются следующие.

1. Разработана математическая модель двумерного магнетонного кристалла с использованием теории многократного рассеяния. Получены дисперсионные характеристики прямых объемных спиновых волн в таких магнетонных кристаллах.

Показано, что благодаря эффекту невзаимности спиновых волн образуются краевые вращательные состояния с выделенным направлением распространения.

2. Впервые изучены спектры поверхностных спиновых волн в одномерных бикомпонентных магнетонных кристаллах без металлизации и с металлизацией поверхности с одной стороны, а также в однокомпонентных кристаллах с микроструктурированной поверхностью, методом разложения по плоским волнам, учитывающим особенности граничных условий на разных поверхностях магнетонного кристалла. Обнаружен эффект невзаимности спиновых волн, выражающийся в асимметрии дисперсионных характеристик спиновых волн, в смещении максимумов и минимумов дисперсионных ветвей внутрь зоны Бриллюэна. С помощью метода матриц передачи показано, что зонная структура дисперсии волн формируется уже на нескольких периодах структуры.

3. Исследовано распространение поверхностных магнитостатических спиновых волн в ограниченных ферромагнитных волноводах переменной ширины. Вследствие неоднородности волновода возникает перекачка энергии между ширинными модами, что существенно влияет на характер распространения волн в таких структурах благодаря пространственной интерференции.

Практическая ценность работы состоит в том, что полученные результаты открывают возможности для создания новых устройств обработки сигналов на принципах магнетонной логики, а также устройств обработки информационных сигналов СВЧ диапазона.

Достоверность выводов и результатов диссертации не вызывают сомнений. В работе используются общепринятые теоретические подходы. Отдельные результаты, полученные различными методами (аналитическими, численными и экспериментальными) совпадают между собой. Основные выводы находятся в соответствии с известными теориями и публикациями других авторов.

Недостатки и замечания по работе

1. В диссертации при проведении теоретических исследований магнитных и акустических структур различных типов используются различные методы

математического моделирования. Вместе с тем, отсутствует обоснование выбора того или иного метода.

2. В разделе 2.3 закон дисперсии спиновых волн был получен на базе метода матриц передачи, однако в тексте раздела это нигде не указано. Об этом написано только во введении и в заключении диссертационной работы. Желательно было бы привести выражение для матрицы передачи на однородном участке периодической структуры.

3. Диссертационная работа посвящена теоретическим исследованиям с использованием численного моделирования. Однако, автор уделяет недостаточное внимание вопросам погрешности расчета, величины шага сетки и устойчивости выбранных численных методов.

4. В разделе 3.2 проводится изучение распространения спиновых волн в пленочном ферромагнитном волноводе, ширина которого плавно уменьшается. При этом не учитывается неоднородность внутреннего магнитного поля, вызванная анизотропией формы. Комментарии автора по поводу обоснованности такого приближения были бы желательны.

5. В тексте диссертации и в автореферате встречаются опечатки.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают высокой оценки диссертационной работы.

Итоговое заключение

В целом диссертационная работа представляет собой серьезное исследование, выполненное на высоком научном уровне. В ней получен ряд новых важных результатов по решению задач распространения спиновых и акустических волн в структурированных материалах.

Диссертация свидетельствует о высокой квалификации автора. Научные положения и выводы диссертации обоснованы и подтверждены соответствующими исследованиями. Анализ публикаций автора показывает, что основные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК Минобразования и науки России для публикации материалов докторских и кандидатских диссертаций, докладывались

на многих российских и международных конференциях. Диссертация написана хорошим языком и аккуратно оформлена. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Рассмотренная диссертация обладает высокой научной ценностью в области физики конденсированного состояния, отвечает специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния (физико-математические науки) и имеет важное значение для практических применений в электронике. Считаю, что диссертационная работа Калябина Дмитрия Владимировича удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно пп. 9-14 Положения ВАК о присуждении учёных степеней (утверждённым постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры физической электроники и технологии
Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета
им. В.И. Ульянова (Ленина),



Устинов А.Б.

29.08.2017

Подпись Устинова А.Б. удостоверяю

Ученый секретарь совета СПбГЭТУ «ЛЭТИ»



Т.Л. Русьева

Устинов Алексей Борисович
адрес: 197376, С.-Петербург, ул. проф. Попова, д. 5, СПбГЭТУ
телефон: 8(812)2349983
e-mail: ustinov-rus@mail.ru