

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Теплового Валентина Сергеевича «**Возбуждение и распространение слабозатухающих магнитных колебаний в пленках железо-иттриевого граната**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений

В настоящее время большое количество работ посвящается исследованию динамики распространения спиновых волн в магнитных материалах в СВЧ диапазоне. В частности, такие исследования проводятся для структур, которые могут быть использованы как элементные блоки для СВЧ устройств, таких как направленные ответвители на основе пленок железо-иттриевого граната (ЖИГ), делители мощности. Расширение области использования ЖИГ пленок для создания на их основе различных функциональных элементов магнетронных сетей стало возможным, вследствие исследования свойств спиновых волн, распространяющихся вдоль магнитных микроволноводов и магнетронных кристаллов. Диссертационная работа Теплового В.С. посвящена поиску и рассмотрению ряда методов управления магнитными колебаниями, возбуждаемыми в линейном и нелинейном режиме в пленках ЖИГ различных конфигураций.

Поставленные задачи диссертационного исследования являются последовательно сформулированными, ясными и понятными при прочтении работы. Решение поставленных в диссертационной работе задач осуществляется с помощью хорошо зарекомендовавших себя экспериментальных и численных методик, таких как Мандельштам-Бриллюэновская спектроскопия магнитных материалов и микромагнитное моделирование, соответственно, позволяет соискателю получить достоверные и новые результаты, и на их основе сформулировать научно-значимые положения.

В работе автором были рассмотрены процессы распространения неотраженной волны в пленке ЖИГ с искусственно созданной линией дефектов, а также определены волновые характеристики неотраженной волны и проведено их сравнение с параметрами других типов возбуждаемых спиновых волн. Данные результаты были получены с помощью методики Мандельштам-Бриллюэновского рассеяния света, позволяющей

оценить параметры неотраженной волны с высоким пространственным, частотным и временным разрешением. Проведено численное микромагнитное моделирование процессов авторезонансного возбуждения колебаний намагниченности в тонких пленках в рамках решения уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта. Показано, что авторезонанс возбуждает колебания намагниченности с большими углами отклонения от равновесного положения при малом поле накачки в пленках ЖИГ с перпендикулярной магнитной анизотропией.

Следует отметить, что полученные данные о волновых свойствах неотраженной волны продемонстрировали возникновение нового слабозатухающего волнового процесса, обусловленного анизотропией распространения магнитостатических волн в пленках ЖИГ. Результаты могут быть использованы для увеличения расстояния передачи информации при разработке спин-волновых СВЧ-устройств. Таким образом, тема диссертационной работы Теплова В.С. и поставленные задачи, безусловно, являются актуальными и практически значимыми.

Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав, заключения, списка использованных обозначений и сокращений, списков литературы и публикаций по теме диссертации. Содержит 119 страниц, 38 рисунков и 1 таблицу. Список литературы насчитывает 100 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, показана степень её разработанности, сформулированы цель исследования и задачи, необходимые для её достижения, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, показаны степень достоверности и апробации результатов, указан личный вклад автора диссертации.

В **первой главе** приведён подробный обзор литературы об используемых приближениях для описания движения намагниченности в магнитной среде, обменном и дипольном взаимодействиях, влиянии кристаллической и одноосной анизотропии. Автором представлены основные типы и свойства бегущих и стоячих спиновых волн в магнитных структурах. Представлены аналитические решения для авторезонансного возбуждения колебаний намагниченности в магнетиках.

Во **второй главе** представлены результаты экспериментального изучения процессов распространения слабозатухающих спиновых волн в пленках ЖИГ. В качестве

объекта изучения выступала неотраженная волна (НВ), формирующаяся из-за эффекта полного неотражения поверхностной магнитостатической волны от линии дефектов в плёнках ЖИГ. Для исследования процессов распространения спиновых волн в образцах использовалась оптическая методика Мандельштам-Бриллюэновского рассеяния света и были получены амплитудно-частотные характеристики неотражённой волны и поверхностной магнитостатической волны (ПМСВ) в пленке ЖИГ. Проведено сравнение процессов затухания неотражённой волны, ПМСВ и каустической спиновой волны. Приведены экспериментальные результаты по измерению групповой скорости неотражённой волны в ЖИГ плёнке.

В третьей главе с помощью метода микромагнитного моделирования, основанном на численном решении уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта в программном пакете MuMax3, были рассмотрены несколько моделей плёнки ЖИГ с перпендикулярной магнитной анизотропией и определены статические и динамические параметры намагниченности для каждой модели. Путем сравнения результатов моделирования с аналитическим приближением Киттеля для однодоменной перпендикулярно намагниченной пластины были определены оптимальные модели, необходимые для теоретического рассмотрения процесса нелинейного возбуждения высокоамплитудных колебаний намагниченности в перпендикулярно намагниченной пленке ЖИГ.

В четвертой главе на основе полученных в третьей главе моделей теоретически рассматривается новый нелинейный процесс возбуждения слабозатухающих магнитных колебаний в пленке ЖИГ с перпендикулярной магнитной анизотропией – авторезонанс. Исследование авторезонанса было разделено на четыре этапа, позволяющих перейти от простой аналитической модели, полученной в первой главе, к моделям, учитывающим влияние полей размагничивания, затухание и вклады магнитокристаллической и поверхностной анизотропии, путем добавления в эффективное магнитное поле уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта соответствующих слагаемых.

В заключении были отмечены основные выводы диссертационной работы.

Наиболее важными результатами диссертационной работы на мой взгляд являются следующие:

1. Впервые экспериментально показано, что неотражённая волна в пленке ЖИГ, возникающая при особых граничных условиях на поверхности пленки, является

неколлинеарной, ее фазовая и групповая скорость перпендикулярны друг другу. Неотражённая волна распространяется узким нерасходящимся пучком за пределами дефектной структуры.

2. Методом микромагнитного моделирования показана возможность авторезонансного возбуждения колебаний намагниченности переменным магнитным полем малой величины с линейно меняющейся частотой в тонких магнитных пленках ЖИГ с перпендикулярной магнитной анизотропией и определены необходимые параметры для его экспериментального наблюдения.

Хочется отметить, что полученные физические эффекты могут быть использованы для экспериментального наблюдения авторезонансного возбуждения слабозатухающих колебаний намагниченности в одноосных пленках ЖИГ, и демонстрируют научную и практическую значимость диссертационной работы. Автореферат адекватно и в полной мере отражает содержание диссертационной работы. Основные результаты работы опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах, что подтверждает новизну и достоверность полученных результатов.

В качестве вопросов и замечаний можно отметить следующие:

1. Во второй главе автором продемонстрированы пространственные карты распределения фазы спиновых волн, полученные с помощью установки Мандельштам-Бриллюэновского рассеяния света при использовании электрооптического модулятора, однако в тексте работы недостаточно детально указано, как происходит извлечение фазы спиновых волн.
2. В работе автором были представлены результаты экспериментального изучения процессов распространения неотражённых волн и слабозатухающих спиновых волн в пленках ЖИГ, однако для полноты картины было бы полезно провести численный анализ формирования неотражённых волн для рассмотренных магнитных микроструктур.
3. В тексте диссертации имеется ряд помарок на рисунках, а также грамматических ошибок.

Указанные замечания ни в коем случае не принижают общего положительного впечатления от диссертационной работы.

Основные результаты по теме диссертации изложены в статьях, в реферируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Результаты исследований прошли хорошую апробацию на международных и всероссийских научных конференциях.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научно-исследовательских и производственных организациях, образовательных учреждениях, сферой деятельности которых являются исследования спиновых волн в различных структурах, а также производство устройств, работающих с их использованием.

Считаю, что диссертационная работа Теплова Валентина Сергеевича в полной мере удовлетворяет всем требованиям п. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Теплов Валентин Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент, кандидат физико-математических наук по специальностям 01.04.03 и 01.04.05, доцент, доцент кафедры физики открытых систем Института физики Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, г. Саратов.

Садовников Александр Владимирович

31 октября 2022 г.

Контактные данные

Адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83

тел.: +79033868480

e-mail: Sadovnikovav@gmail.com

Подпись Садовникова А.В. заверяю

Учёный секретарь СГУ имени Н.Г. Чернышевского

к.х.н., доцент



*С отзивом ознакомлен - " 1. Теплов А.С.
08.11.2022*

Сведения об официальном оппоненте

ФИО: Садовников Александр Владимирович

Ученая степень, звание: кандидат физико-математических наук по специальностям 01.04.03 и 01.04.05, доцент

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Должность: доцент кафедры физики открытых систем

Почтовый адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83

Тел.: +79033868480

E-mail: Sadovnikovav@gmail.com

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация

1. Sadovnikov A.V., Talmelli G., Gubbiotti G., Beginin E.N., Sheshukova S., Nikitov S.A., Adelman C., Ciubotaru F. Reconfigurable 3D magnonic crystal: Tunable and localized spin-wave excitations in CoFeB meander-shaped film //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2022. – Т. 544. – С. 168670.
2. Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Sheshukova S.E., Sharaevskii Y.P., Stognij A.I., Novitski N.N., Sakharov V.K., Khivintsev Yu.V., Nikitov S.A. Route toward semiconductor magnonics: Light-induced spin-wave nonreciprocity in a YIG/GaAs structure //Physical Review B. – 2019. – Т. 99. – №. 5. – С. 054424.
3. Sadovnikov A.V., Grachev A.A., Sheshukova S.E., Sharaevskii Y.P., Serdobintsev A.A., Mitin D.M., Nikitov S.A. Magnon straintronics: Reconfigurable spin-wave routing in strain-controlled bilateral magnetic stripes //Physical review letters. – 2018. – Т. 120. – №. 25. – С. 257203.
4. Sadovnikov A.V., Gubanov V.A., Sheshukova S.E., Sharaevskii Y.P., Nikitov S.A. Spin-wave drop filter based on asymmetric side-coupled magnonic crystals //Physical Review Applied. – 2018. – Т. 9. – №. 5. – С. 051002.
5. Sadovnikov A.V., Odintsov S.A., Beginin E.N., Sheshukova S.E., Sharaevskii Y.P., Nikitov S.A. Toward nonlinear magnonics: Intensity-dependent spin-wave switching in insulating side-coupled magnetic stripes //Physical Review B. – 2017. – Т. 96. – №. 14. – С. 144428.

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук, доцент

Специальности 01.04.03 и 01.04.05

Доцент кафедры физики открытых систем

ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Садовников А.В.

