

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИФМ УрО РАН

академик РАН



Н.В.Мушников

« 17 » июля 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Кожаяева Михаила Александровича «Генерация спиновых волн сверхкороткими лазерными импульсами в диэлектрических магнитных материалах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации.

Начиная с 2014 года во всех статьях, прогнозирующих наиболее актуальные направления современных исследований в области магнетизма (Magnetism Roadmap, J.Phys.D, 2020, v.53. 453001 (44pp). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab9d98>) неизменно присутствует раздел по динамике магнитных явлений, индуцированных воздействиями сверхкоротких лазерных импульсов. При этом возникает новый класс явлений, основанных на недиссипативных механизмах, позволяющих возбуждать когерентную спиновую динамику и управлять ее параметрами. Особый интерес для фундаментальной физики и потенциальных практических применениях в информационных технологиях представляет возможность прямого возбуждения спиновой подсистемы за счет сверхбыстрых оптомагнитных явлений. Несомненным преимуществом диэлектрических магнитных материалов по сравнению с металлическими является существенно более низкий коэффициент затухания спиновых волн.

В связи с этим тематика диссертации, посвященной полностью оптическим механизмам управления намагниченностью и генерации различных типов спиновых волн в магнитных диэлектрических средах, является несомненно актуальной и соответствует мировым тенденциям в этой области физики конденсированного состояния.

Целью работы являлось исследование методов генерации спиновых волн и управления их свойствами в средах с большой величиной магнитооптического эффекта при фемтосекундном лазерном возбуждении.

Для достижения поставленной цели были исследованы особенности генерации различных типов магнитоэлектрических спиновых волн в пленках висмут-замещенного феррит-граната, изучена возможность резонансного усиления эффективности генерации в

магнитофотонном микрорезонаторе, продемонстрированы возможности оптического управления свойствами возбуждаемых спиновых волн.

Структура и основное содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Работа изложена на 80 страницах включая 28 рисунков. Список литературы содержит 113 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту. Также приведены сведения об апробации работы, публикациях, личном вкладе автора, обоснована достоверность полученных результатов, приведен перечень публикаций по теме диссертации

Первая глава начинается кратким литературным обзором по фотомагнитным и магнитооптическим эффектам, а также по магнитостатическим спиновым волнам. Приведены сведения о опубликованных результатах исследований других авторов на основе анализа которых сформулированы цели и задачи диссертационной работы. Описаны использованные теоретические модели, экспериментальные методики и установки, а также образцы. Обоснован выбор висмут-замещенных феррит-гранатов в качестве объектов исследований.

Во второй главе представлены результаты по оптической генерации различных типов спиновых волн при возбуждении фемтосекундными лазерными импульсами. Полученные результаты по оптическому возбуждению магнитостатических волн представляют несомненный интерес, поскольку традиционно волны такого типа генерируют с помощью микроволновых антенн. Автором показано, что в зависимости от условий возбуждения возможна генерация как поверхностных, так и объемных магнитостатических волн в гигагерцовом частотном диапазоне, причем возможен контроль относительной эффективности возбуждения волн данного типа величиной и направлением приложенного магнитного поля.

В этой же главе представлены результаты измерений локальных магнитных полей с помощью оптически возбуждаемых магнитостатических волн. Использование методики накачка-зондирование с малыми размерами зондирующего лазерного пятна (порядка 10 мкм) позволяет получать информацию о магнитных свойствах исследуемой структуры со столь высоким пространственным разрешением. Полученные результаты являются важным для разработки методик исследований быстропротекающих процессов магноники и спинтроники с высоким пространственным разрешением.

Третья глава посвящена исследованиям генерации спиновых волн в магнитофотонных кристаллах, а именно в магнитофотонном микрорезонаторе. Получены очень интересные результаты. Экспериментально продемонстрировано, что использование микрорезонатора позволяет в пять раз увеличить значение обратного эффекта Фарадея. Выполнен расчет распределения оптического поля, который позволил сделать вывод о субволновой локализации

обратного эффекта Фарадея по толщине пленки. Проанализированы факторы, влияющие на распределение магнитного поля при обратном эффекте Фарадея. Предложены варианты для концентрации оптических полей в объемах на наноразмерном уровне.

В четвертой главе представлены результаты экспериментов по управлению свойствами оптически генерируемых спиновых волн. Подробно проанализирована зависимость фазы прецессии возбуждаемой намагниченности от азимутального угла накачки в магнитных полях до 850 Эрстед. Результаты хорошо согласуются с описанной моделью. Для потенциальных практических применений представляет особый интерес обоснование возможности изменения фазы до 90 градусов при соответствующих значениях параметров магнитной анизотропии пленки, величинах приложенных магнитных полей и углах падения.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Личный вклад автора состоит в участии в разработке экспериментальных установок, формулировке цели и задач исследований, непосредственном проведении экспериментов и их интерпретации. Все основные результаты получены автором лично или при его непосредственном участии.

Научная новизна результатов диссертационной работы связана с новыми экспериментально установленными закономерностями особенностей генерации объемных и поверхностных магнитостатических волн и возможностью управления их относительной эффективностью при фемтосекундном лазерном возбуждении. Предложен новый метод определения динамических магнитных характеристик с высоким (порядка 10 мкм) пространственным разрешением. Проверена возможность существенного усиления обратного магнитооптического эффекта Фарадея в геометрии микрорезонатора. Продемонстрировано управление фазой возбуждаемой спиновой волны при оптическом возбуждении циркулярно поляризованными лазерными импульсами с фемтосекундной длительностью.

Достоверность результатов и обоснованность выводов.

Достоверность полученных экспериментальных и теоретических результатов обеспечена применением современного оборудования, использованием адекватных теоретических моделей, алгоритмов расчетов и анализа. Результаты находятся в соответствии с данными, полученными другими исследователями, апробированы на международных конференциях по тематике работы, опубликованы в высокорейтинговых рецензируемых научных изданиях. Все защищаемые положения и выводы обоснованы экспериментальными и теоретическими результатами.

Представленные результаты являются новыми, поскольку были получены для типов образцов, не исследованных ранее.

Практическая значимость полученных результатов обусловлены возможными перспективами применений полученных результатов в приборах и устройствах для сверхбыстрой обработки информации нового поколения. Результаты диссертации могут быть

использованы в научных исследованиях по физике конденсированного состояния, магнитооптике, спинтронике, выполняемых в ИФМ УрО РАН, МГУ им.М.В.Ломоносова, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, МИРЭА, ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, ИОФ РАН.

Автореферат диссертации в полной мере передает содержание работы. Результаты работы изложены в 23 печатных работах, из которых 5 статей опубликованы в российских и международных рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, РИНЦ и входящих в список ВАК.

Замечания по диссертационной работе.

1. В диссертации делается вывод о возможности управления эффективностью возбуждения поверхностных и обратных МСВ в диэлектрических магнитных пленках посредством управления размером области оптической накачки образца. Недостаточно подробно описано и проанализировано влияния толщины пленки на наблюдаемые эффекты, поскольку именно толщина определяет, в частности, величину оптических потерь, спектры МСВ, различные резонансные эффекты, многократное отражение и т.д.

2. В работе отсутствует прямое сравнение и подтверждение эффективности образования МСВ оптическим методом с традиционно используемым СВЧ-методом, а также в зависимости от размеров пятна лазера.

3. В работе, в значительной степени, связанной с исследованиями оптических характеристик за исключением краткого параграфа 1.4.2, отсутствуют экспериментальные данные об оптических свойствах исследуемых образцов (например, спектральные зависимости поглощения и эффекта Фарадея), а также не приведено обоснование выбора параметров возбуждающего и зондирующего пучков с учетом оптических свойств конкретных составов исследованных пленок.

4. Следует также отметить следующие недостатки в оформлении диссертации.

Не всегда правильно использована терминология.

Страница 16, строка 3 снизу «...линии соответствуют симуляции на основе уравнения Ландау-Лифшица».

Страница 22, строка 6 сверху «...подрешетки редкой земли...».

В тексте диссертации имеются неудачные формулировки.

Например, страница 44, строки 11-12 снизу «Это связано с большой толщиной пленки по отношению к радиусу импульса накачки».

Страница 62, строка 2 сверху « вклад $HIFE_x$ в возбуждение намагниченности пренебрежимо мал по сравнению с входом других компонентов...».

Страница 65, строка 8 снизу «...с изменением угла азимута света накачки».

В тексте диссертации не везде исправлены опечатки. Например, страница 60, строка 10 снизу

«Из-за импульса $HIFE(t)$ Намагниченность образца...»

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы и ее результатов.

Заключение

Диссертация М.А.Кожеева является законченной научно-квалификационной работой, которой решены задачи актуальные для физики конденсированного состояния

Диссертационная работа Михаила Александровича Кожеева «Генерация спиновых волн сверхкороткими лазерными импульсами в диэлектрических магнитных материалах» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, в части, касающейся диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Диссертационная работа рассмотрена и обсуждена на объединенном семинаре лабораторий нанокompозитных мультиферроиков, углеродных наноматериалов, магнитных полупроводников и квантовой наноспинтроники отдела наноспинтроники ИФМ УрО РАН 10 марта 2021 г. Отзыв рассмотрен и одобрен Ученым советом ИФМ УрО РАН «17» марта 2021 года (протокол № 5).

Главный научный сотрудник, заведующий лабораторией
нанокompозитных мультиферроиков ИФМ УрО РАН,
доктор физ.-мат. наук



А.П. Носов

Почтовый адрес: 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

Тел.: (343)3747922

E-mail: nossov@imp.uran.ru

Я, Носов Александр Павлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



Подпись А.П. Носова заверяю
ученый секретарь ИФМ УрО РАН,
кандидат физ.-мат. наук



И.Ю. Арапова