



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе**  
**Российской академии наук**

Политехническая ул., 26, С.-Петербург, 194021  
Телефон: (812) 297-2245 Факс: (812) 297-1017  
post@mail.ioffe.ru http://www.ioffe.ru

ИНН 7802072267/КПП 780201001  
ОКПО 02698463  
ОГРН 1037804006998

ОТЗЫВ ОППОНЕНТА Калашниковой Александры Михайловны  
на диссертационную работу Кожяева 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»

Диссертационная работа Кожяева М. А. посвящена проблеме генерации магнитостатических волн фемтосекундными лазерными импульсами в модельном материале магноники – феррите-гранате. В работе представлены результаты экспериментального исследования особенностей возбуждения магнитостатических волн в тонких пленках и магнитофотонных структурах на основе феррита-граната за счет сверхбыстрого обратного эффекта Фарадея.

*Оценка актуальности*

Актуальность приведённых в данной диссертационной работе исследований обусловлена фундаментальной и практической значимостью решения проблемы разработки новых методов генерация спиновых волн с возможностью управления их спектральными, пространственными и другими характеристиками. Использование для этих целей фемтосекундных лазерных импульсов рассматривается в настоящий момент как один из таких перспективных методов. Особый интерес при этом представляют эффекты взаимодействия лазерных импульсов с магнитными материалами, не основанные на поглощении, т.к. они открывают путь к реализации возбуждения спиновых волн без значительных потерь на рассеяния тепла. Кроме того, такие эффекты чувствительны к поляризации лазерных импульсов, что дает дополнительную возможность по управлению характеристиками возбуждаемо магнитной динамики. В работе изучаются особенности возбуждения магнитостатических волн за счет одного из таких эффектов – сверхбыстрого обратного эффекта Фарадея (ОЭФ). В качестве объектов исследования выбраны тонкие пленки и магнитофотонная структура на основе феррит-граната – материала, имеющего перспективы практического применения в магнонике.

*Структура и содержание работы*

Диссертационная работа изложена на 80 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы. Во *введении* обоснованы актуальность работы, научная и практическая значимость работы, достоверность результатов, перечислены цели диссертационной работы, дана информация об апробации полученных результатов.

В *первой* главе дан общий обзор состояния исследований по возбуждению магнитной динамики фемтосекундными лазерными импульсами, о свойствах спиновых волн, а также о методиках, используемых в диссертационной работе.

Главы со второй по четвертую являются оригинальными. *Вторая глава* посвящена демонстрации и изучению возбуждения поверхностных (ПМСВ) и обратных объемных (ОМСВ) магнитостатических волн в тонких пленках феррита-граната, замещенного  $\text{Bi}$ , циркулярно-поляризованными фемтосекундными лазерными импульсами, сфокусированными в пятна различных размеров. Изучена зависимость эффективности генерации ПМСВ и ОМСВ от размеров пятна возбуждения. Также высказано предложение использовать возбуждение ПМСВ и ОМСВ сильно сфокусированными лазерными импульсами для локального зондирования магнитных свойств тонких магнитных пленок.

Во *третьей главе* исследуется экспериментально и теоретически оптическое возбуждение спиновой волны в магнитофотонной структуре с микрорезонатором, в которой осуществляется локализация плотности энергии импульса накачки в слое микрорезонаторном слое феррита-граната. Изучается вопрос об усилении ОЭФ за счет такой локализации по аналогии с усилением прямых магнитооптических эффектов.

*Четвертая глава* посвящена вопросу управления начальной фазой прецессии намагниченности, возбуждаемой в тонкой пленке феррита-граната за счет ОЭФ. Предложена и экспериментально продемонстрирована идея изменить начальную фазу прецессии за счет изменений азимутального угла падения импульсов накачки.

В конце диссертационной работы приведено *заключение*, в котором перечислены основные результаты работы, и список литературы, включающий 113 наименований.

#### *Оценка новизны и достоверности*

Все представленные в диссертационной работе экспериментальные результаты являются оригинальными и новыми на момент их опубликования соискателем в рецензируемых журналах. Достоверность полученных результатов подтверждается, в том числе, феноменологическим анализом взаимодействия циркулярно-поляризованного света с магнитным материалом и магнитостатических волн.

Среди новых результатов, полученных соискателем и представленных в диссертационной работе, следует выделить:

- Демонстрация одновременного возбуждения ПМСВ и ОМСВ в прозрачном магнитном диэлектрике за счет обратного эффекта Фарадея, демонстрация влияния размера пятна накачки на относительную эффективность генерации двух типов волн.
- Демонстрация существенного усиления эффективности возбуждения и изменения времени затухания спиновой волны в магнитофотонной структуре с микрорезонаторным слоем за счет локализации излучения.
- Демонстрация нового подхода к управлению начальной фазой прецессии намагниченности, возбуждаемой за счет обратного эффекта Фарадея в тонкой пленке феррита-граната. Показано, что начальная фаза прецессии определяется, в том числе, и азимутальным углом падения импульсов накачки. В эксперименте показано изменение начальной фазы прецессии в пределах  $15^\circ$ , а также предложено, в каких материалах этот эффект может быть существенно усилен.

Все результаты прошли апробацию и были представлены соискателем на российских и международных конференциях. По результатам исследований соискателя опубликовано 5 статей в рецензируемых научных журналах, включенных как в перечень ВАК и в международную базу Web of Science.

#### *Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации*

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к использованию в работе научных и учебных учреждений, в которых ведутся исследования по направлениям магнитооптика, магноники и фемтомагнетизм, в том числе в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СГУ, ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Институте физики металлов УрО РАН, Российском квантовом центре, на физических факультетах МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ, Университета ИТМО, ДВФУ и в других организациях.

#### *Вопросы и замечания*

К работе можно высказать следующие вопросы, замечания и рекомендации:

1. Для формулы (1.1) следует дать пояснение, что означают параметры  $\epsilon_i$  и  $\delta_{ik}$ . Для полноты описания вывода выражений для эффективного поля (1.4) следует пояснить, как связаны постоянные Кунда  $K$  и Коттона-Мутона  $C_{[100]}$  и  $C_{[111]}$  с компонентами тензора диэлектрической проницаемости (1.1).
2. В главе 1 при обсуждении фотомагнитных эффектов соискатель обсуждает результаты по возбуждению прецессии намагниченности в феррите-гранате за счет лазерно-индуцированного нагрева и связанного с ним изменения магнитной анизотропии [25]. Не вполне понятно, почему соискатель относит этот результат к фотомагнитным эффектам, не основанным на нагреве.
3. Во всех работах для возбуждения спиновых волн и прецессии намагниченности используется обратный эффект Фарадея. Однако не обсуждается, было ли наличие данного эффекта верифицировано в эксперименте путем возбуждения спиновых волн импульсами с разными циркулярными поляризациями и наблюдения изменения начальной фазы прецессии.
4. Требуется пояснения, почему в эксперименте по наблюдению ПМСВ и ООМСВ (Глава 2) наблюдается распространение ПМСВ вдоль направления магнитного поля. Известно, что для ПМСВ имеется критический угол относительно направления, перпендикулярного магнитному полю, за пределами которого эти волны не распространяются.
5. При обсуждении формул (2.2) и (2.3) указано, что они получены для азимутальных углов  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \pi/2$ , что соответствует максимуму и минимуму частот МСВ. Однако для исследуемых образцов наблюдается 120-градусная зависимость частоты от угла  $\varphi$ , т.е. максимумы и минимумы частоты наблюдаются при других углах. Следует дать комментарий о применимости данных формул для рассматриваемого случая.
6. Не вполне понятно, почему в Главе 2.2. только для одного из исследуемых образцов проведен анализ магнитной анизотропии на основании данных по азимутальным зависимостям частот магнитостатических волн. Демонстрация применимости предложенного метода требовала бы его применения для нескольких образцов, имеющих различную анизотропию, например для образцов 1 и 2.

7. На Рис. 3.2(б,д) не приведены кривые, аппроксимирующие экспериментальные данные, поэтому не очевидно, насколько хорошо экспериментальные данные описываются предложенной аналитической функцией. Кроме того, обсуждение зависимости времени затухания прецессии от длины волны и плотности энергии в импульсе накачки имеет чисто описательный характер и не подкреплено графиками зависимости времени затухания от указанных параметров. Рекомендую соискателю продемонстрировать указанные графики.

8. Требуется пояснения, как была получена формула (3.1), связывающая амплитуду прецессии намагниченности и эффективного поля, индуцированного за счет обратного эффекта Фарадея. Была ли она выведена соискателем или она взята из литературы?

9. Из обсуждения в Главе 3 не очевидно, приводит ли обратный эффект Фарадея в магнитофотонном микрорезонаторе к возбуждению однородной по толщине пленки прецессии или к стоячей волне. Это следует пояснить.

10. Из обсуждения в главе 4 не вполне понятно, должен ли азимутальный угол для луча накачки отсчитываться от направления магнитного поля или от направления намагниченности. Представляется, что следует обсуждать азимутальный угол относительно направления намагниченности, т.к. в случае анизотропного материала намагниченность не сонаправлена с полем в общем случае. При этом в Положении 5 обсуждается именно азимутальный угол падения импульса накачки относительно внешнего магнитного поля. Соискателю следует дать пояснение по этому вопросу.

11. В работе часто встречаются несогласованности неточности в изложении. Так, обращает на себя внимание, что в уравнениях (1.6) и (1.7) вклады, отписывающие прецессию, входят с разным знаком. В рамках одной работы следовало бы придерживаться единообразия в записи уравнений. Кроме того, в тексте диссертации используются разные варианты записи векторного произведения, разные обозначения векторных и тензорных величин, что также не приветствуется. В ряде случаев не расшифрованы используемые переменные (см., например, (1.8)). На Рис. 2.4. указаны неверные единицы измерения – мкрад вместо мкм. В тексте встречаются некорректные и неточные формулировки, например, «размагничивание спинов», «прецессия намагничивания» и т.д. Также имеется ряд грамматических ошибок.

Перечисленные выше вопросы и замечания не снижают высокой оценки оппонентом научной ценности данной диссертационной работы и не ставят под сомнение достоверность приведенных в работе результатов и выводов.

### *Заключение*

Диссертационная работа является законченным научным исследованием, обладает четкой структурой, свидетельствует о личном вкладе автора в развитие науки. Значительный объем данных, представленных в диссертационной работе, получен в результате экспериментов по современной методике накачки-зондирования, адаптированной для целей работы. Полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с основными концепциями, принятыми в настоящее время в физике фемтомагнетизма и спиновых волн.

В автореферате четко сформулированы цель и актуальность работы, описаны методы исследования, приведена информация о достоверности полученных результатов, изложены научная новизна и практическая значимость работы, приведена информация о личном вкладе соискателя, указаны научные положения, выносимые на защиту, приведена ин-

формация об апробации работы, описаны структура и объем диссертации, краткое содержание работы по главам, основные результаты и выводы диссертационной работы. Автореферат адекватно отражает содержание диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы имеют важное фундаментальное и практическое значение. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

Диссертационная работа Кожаева М. А. на тему " Генерация спиновых волн сверхкороткими лазерными импульсами в диэлектрических магнитных материалах " полностью удовлетворяет требованиям ВАК России для диссертаций, предоставляемых на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния», а автор работы, Кожаев Михаил Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент:

PhD (признаваемая в РФ как равная степени кандидата физ.-мат. наук)

исполняющий обязанности ведущего научного сотрудника – заведующий лабораторией физики ферроиков Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

Калашникова Александра Михайловна

03.04.2021

Контактные данные оппонента:

тел.: +7 (812) 292-79-63, эл. почта: [kalashnikova@mail.ioffe.ru](mailto:kalashnikova@mail.ioffe.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: физика

Адрес места работы оппонента:

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

194021 г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26

Тел.: +7 (812) 297-10-17, e-mail: [post@mail.ioffe.ru](mailto:post@mail.ioffe.ru)

Подпись А. М. Калашниковой удостоверяю

Ученый секретарь ФТИ им. А. Ф. Иоффе

К.Ф.М.н. Патров М. И.

