

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Кожаева Михаила Александровича

### «Генерация спиновых волн сверхкороткими лазерными импульсами в диэлектрических магнитных материалах»

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния

#### **Актуальность**

Интерес к исследованию оптических методов возбуждения спиновых волн в магнитных диэлектрических материалах связан с возможностью их применения для передачи и обработки информации. По сравнению с электрическими импульсами спиновые волны могут обладать меньшими тепловыми потерями. Помимо этого, частоты спиновых волн достигают терагерцового диапазона. Одним из методов оптической генерации спиновых волн является обратный магнитооптический эффект Фарадея, при котором прохождение импульса света круговой поляризации через магнитную среду приводит к воздействию, аналогичному некоторому эффективному магнитному полю. Исследованию этого метода для генерации спиновых волн посвящена данная работа.

#### **Структура и краткий анализ содержания диссертации**

Материал диссертации М.А. Кожаева состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Общий объем работы составляет 80 страниц, включающих 28 рисунков. Библиография включает 113 наименований.

**В первой главе** приведен обзор теоретических и экспериментальных работ, посвященных оптическим методам управления магнитным порядком в различных средах. Здесь же представлены описания используемых методов, включая экспериментальные установки и теоретические подходы.

**Вторая глава** посвящена оптической генерации различных типов спиновых волн посредством обратного эффекта Фарадея в тонких магнитных пленках. Продемонстрирована возможность управления относительной эффективностью возбуждения поверхностной и обратной объемной магнитоэлектрической спиновых волн посредством изменения условий фокусировки (размера пятна и, соответственно, плотности мощности падающего излучения) возбуждающего спиновые волны оптического излучения. Помимо этого, была показана возможность измерения локальных магнитных полей при

помощи возбуждения спиновой динамики в образце. Методика основана на зависимости частот прецессии намагниченности и магнитостатических спиновых волн от величины и направления внешнего магнитного поля.

**В третьей главе** рассмотрено влияние брэгговских зеркал на эффективность оптического возбуждения спиновых волн. Для этого исследовалось эффективное поле обратного эффекта Фарадея в фотонных кристаллах, в которых магнитный слой играет роль микрорезонаторного слоя. Достигнуто усиление среднего эффективного поля в 2,6 раз по сравнению со случаем магнитной среды вне фотонного кристалла. Изучено влияние длины волны импульса накачки на распределение эффективного магнитного поля обратного эффекта Фарадея.

**В четвертой главе** проведены теоретическое и экспериментальное исследования зависимости начальной фазы оптически возбуждаемых спиновых волн от азимутального угла падения импульса накачки в пленке висмут-замещенного феррит-граната. Зависимость определяется направлением эффективного магнитного поля обратного эффекта Фарадея при отличном от нуля угле падения света на магнитную пленку и его влиянием на угол отклонения намагниченности в соответствии с уравнением Ландау-Лифшица-Гильберта. Показано управление начальной фазой волны в пределах 15 градусов путем изменения азимутального угла в пределах  $(-\frac{\pi}{2}, +\frac{\pi}{2})$ .

### **Научная новизна результатов работы**

Результаты, полученные в диссертации, являются новыми. Наиболее важными являются:

- Продемонстрирован оптический метод возбуждения поверхностных магнитостатических волн в магнитных диэлектрических структурах;
- Предложен метод управления относительной эффективностью возбуждения поверхностной и обратной объемной магнитостатических спиновых волн;
- Разработан метод определения констант кубической и одноосной анизотропий магнитной пленки посредством анализа зависимости спектра магнитостатических волн от угла поворота кристалла в магнитном поле;
- Продемонстрировано усиление поля обратного эффекта Фарадея в фотонном кристалле;
- Представлен метод управления начальной фазой спиновой волны при ее возбуждении посредством обратного эффекта Фарадея.

### **Практическая значимость работы**

Решенные в данной работе задачи имеют большое значения для развития обратных магнитооптических методов возбуждения и управления спиновыми волнами. Разработан

метод локального анализа магнитокристаллических характеристик тонких магнитных пленок. Представлен метод увеличения эффективности оптического возбуждения спиновых волн посредством наноструктурирования. Полученные результаты найдут применение при разработке полностью оптических методов записи и считывания информации.

### **Обоснованность и достоверность выводов**

Достоверность полученных результатов обоснована и обеспечена использованием хорошо известных и апробированных теоретических и экспериментальных методов. Экспериментальные результаты подтверждаются верификацией с использованием различных образцов. Результаты диссертации прошли хорошую апробацию после их опубликования в специализированных журналах и докладов на международных научных конференциях.

В список основных публикаций, приведенных в диссертации, включено 23 печатных работы, 5 из них в изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus, и рекомендованных ВАК РФ. Результаты диссертационной работы Кожяева М.А. полностью отражены в публикациях автора.

### **Замечания по работе**

1. В тексте диссертации и первом защищаемом положении эффективность генерации спиновых волн связывается с размером пятна. Безусловно, размер пятна при фиксированной энергии в импульсе должен приводить к изменению эффективности генерации спиновых волн, однако такое изменение будет происходить прежде всего за счет изменения плотности энергии возбуждающего импульса.
2. Поляризационные зависимости прецессии намагниченности в тонких пленках феррита-граната доказывают, что наблюдаемый эффект не связан с нагревом. Тем не менее, представляется необходимым оценить температуру нагрева образца в условиях эксперимента.
3. Во второй главе приводятся временные зависимости фарадеевского вращения при возбуждении прецессии намагниченности. На основе этих зависимостей численными методами проводятся Фурье – преобразования. Поскольку стандартные программные пакеты не обеспечивают достаточную точность такого преобразования для временных зависимостей с малым периодом колебаний, очевидно, что для получения гладких Фурье спектров с большим в работе применялись более сложные (возможно, авторские)



методы преобразований Фурье. Было бы желательно привести описание применяемых процедур.

### Выводы и заключение по диссертации

Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа Кожаева М.А. «Генерация спиновых волн сверхкороткими лазерными импульсами в диэлектрических магнитных материалах» представляет собой законченный научный труд, выполненный на высоком научном уровне. Она соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Кожаев М.А., несомненно, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры нанoeлектроники  
РТУ МИРЭА



Мишина Елена Дмитриевна

01.04.21

Дата подписания

Контактные данные:

тел.: +7 (499) 215-6565, доб. 3026, e-mail: [mishina\\_elenas7@mail.ru](mailto:mishina_elenas7@mail.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:

05.27.01 — «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нано-электроника, приборы на квантовых эффектах»

Адрес места работы:

119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78,  
РТУ МИРЭА, ФТИ,

Тел.: +7 495 939-1682, e-mail: [info@physics.msu.ru](mailto:info@physics.msu.ru)

