

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
«Саратовский Национальный
исследовательский
государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского»
доктор географических наук,
профессор

Алексей Николаевич Чумаченко
« ___ » _____ 2023

Отзыв

ведущей организации ФГБОУ ВО «Саратовский Национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

на диссертацию Геревенкова Петра Игоревича «Сверхбыстрое лазерно-индуцированное изменение магнитной анизотропии и возбуждение распространяющихся магнитостатических волн в тонких металлических пленках», представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 "Физика конденсированного состояния"

В рамках развития концепции магноники, актуальной задачей является поиск механизмов эффективного возбуждения динамики намагниченности и управления её параметрами. В диссертационной работе Геревенкова Петра Игоревича сверхбыстрый лазерно-индуцированный нагрев рассматривается в качестве механизма возбуждения распространяющихся магнитостатических волн в тонких ферромагнитных металлических плёнках. Экспериментально продемонстрировано как возбуждение распространяющейся волны, так и управление её параметрами. Применение подходов микромагнитного моделирования позволило распространить наблюдаемые эффекты на одиночные микрополосковые волноводы и предсказать новый эффект – однонаправленное распространение спин-волновых пучков при приближении области возбуждения к краю волновода.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Полный объем диссертации 112 страниц, включая 24 рисунка и 2 таблицы.

В Главе 1 представлен обзор литературы, включающий в себя основные существующие на данный момент результаты по методам возбуждения и детектирования прецессии намагниченности и распространяющихся магнитостатических волн в тонких ферромагнитных плёнках и структурах на их основе. Рассмотрены работы по влиянию процессов релаксации после лазерно-индуцированного импульсного нагрева и границ магнитной среды на распространение магнитостатических волн. Кратко рассмотрены основные подходы к теоретическому описанию динамики намагниченности.

В Главе 2 представлены результаты измерения магнитооптических петель гистерезиса в различные моменты времени после импульсного лазерно-индуцированного нагрева в тонких эпитаксиальных плёнках FeGa. Анализ петель позволил восстановить зависимость параметра магнитокристаллической анизотропии и намагниченности насыщения от времени в процессе релаксации. Продемонстрирована выполнимость степенного закона между намагниченностью насыщения и параметром магнитокристаллической анизотропии в процессе релаксации после сверхбыстрого импульсного нагрева.

В Главе 3 экспериментально продемонстрировано возбуждение распространяющейся магнитостатической волны в эпитаксиальной плёнке FeGa толщиной 20 нм посредством термического изменения анизотропии сфокусированным лазерным импульсом. Продемонстрирована зависимость параметров возбуждаемой волны от направления внешнего магнитного поля в плоскости плёнки.

В Главе 4 при помощи микромагнитного моделирования анализируется возбуждение термическим изменением анизотропии при помощи сфокусированных лазерных импульсов распространяющихся магнитостатических волн в одиночном волноводе FeNi. Продемонстрирована однонаправленность распространения спин-волновых пучков в случае приближения области возбуждения к краю волновода.

В заключении работы выделен ряд **новых** результатов:

- 1) Продемонстрирована выполнимость степенного закона между намагниченностью насыщения и параметром магнитокристаллической анизотропии в эпитаксиальных плёнках FeGa в процессе релаксации после сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева. Показатель степенного закона в исследуемых образцах не совпадает со значением для объёмного материала и зависит от толщины плёнки.
- 2) Продемонстрировано возбуждение распространяющихся магнитостатических волн в эпитаксиальной плёнке FeGa толщиной 20 нм лазерно-индуцированным изменением анизотропии при помощи сфокусированных в область ~ 1 мкм фемтосекундных импульсов. Параметры возбуждаемой волны зависят от направления внешнего магнитного поля в плоскости плёнки.
- 3) При помощи микромагнитного моделирования продемонстрировано возбуждение однонаправленно распространяющихся пучков спиновых волн в одиночном волноводе FeNi, возбуждаемых сверхбыстрым термическим изменением анизотропии. Амплитудная невзаимность для спин-волновых пучков, распространяющихся в противоположных направлениях, увеличивается при смещении области возбуждения относительно центра волновода. Вблизи краёв микроволновода достигается режим однонаправленности распространения возбуждаемых пучков спиновых волн.

Научные положения и выводы, сформулированные в работе, их достоверность и научная новизна хорошо аргументированы и обоснованы как результатами собственных экспериментальных исследований диссертанта, так и согласием полученных результатов с результатами теоретических и экспериментальных работ, проведенных в ведущих исследовательских организациях в России и за рубежом.

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к использованию в исследовательской работе научных и учебных учреждений, занимающихся

фундаментальными и поисковыми исследованиями в областях физики конденсированного состояния и магнетизма: ФИАН им. П.Н. Лебедева, ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова, Университете ИТМО, СПбГУ, Российском Квантовом Центре, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Основные результаты по теме диссертации изложены в трёх оригинальных статьях, опубликованных в журналах *Physical Review Applied* (две) и *Nanoscale* (одна), а также представлены на 8 международных и российских конференциях. Полученные в работе результаты и сформулированные положения являются новыми, достоверными и обоснованными.

В качестве **замечаний** по работе можно отметить следующее:

1. Научная значимость и последовательное описание результатов и защищаемых положений не вызывает вопросов. Однако в формулировках положений можно отметить несколько небольших замечаний. Зависимость частоты, амплитуды и длины свободного пробега магнитостатических волн от угла между внешним полем и осями магнитной анизотропии в тонкой плёнке галфенола продемонстрирована в работе и не вызывает вопросов по существу, однако вторая часть формулировки третьего положения носит довольно общий характер, отражающий свойства магнитостатических волн. В четвертом же положении вводится термин "невзаимность" как характеристика волнового процесса. В последнем же предложении этот термин используется как количественная характеристика, используемая для описания свойств волн, распространяющихся в противоположных направлениях вдоль оси волновода. В тексте работы введен безразмерный параметр невзаимности, который описывает свойства рассматриваемых волновых пакетов.
2. Увеличение величины разброса полученных значений величины параметра кубической анизотропии, измеряемого при вариации величины намагниченности насыщения при лазерном нагреве с плотностью накачки 7 мДж/см^2 , для пленки 10 нм по сравнению с пленкой 5 нм . Можно ли объяснить данную особенность отличием в параметрах регистрируемого сигнала для более толстых пленок или наличием структурных неоднородностей в пленках галфенола большей толщины?
3. Чем обусловлена интерполяция данных на рисунках 2(а,б), представленных в тексте автореферата, одновременно для значений плотности накачки 7 мДж/см^2 и 14 мДж/см^2 ? Как в этом случае можно учесть влияние нелинейного характера прецессии намагниченности на исследуемую временную динамику величины кубической анизотропии пленок галфенола?
4. Формирование статического профиля намагниченности задавалось в численном эксперименте в виде, когда вблизи обоих краев рассматриваемого микроволновода, образованного полоской пермаллоя, равновесное направление намагниченности вблизи краев микроволновода при $x=1.75 \text{ мкм}$ и $x=-1.75 \text{ мкм}$ было ориентировано параллельно при этом внешнее магнитное поле прикладывалось перпендикулярно длинной оси волновода. Является ли случай параллельной ориентации стабильным ввиду рассмотрения полоски бесконечной длины и возможен ли случай реализации режима устойчивой антипараллельной ориентации равновесной намагниченности вблизи краев? Возможно ли ожидать увеличение или уменьшение параметра невзаимности при вариации положения источника возбуждения спин-волновых пучков в этом случае.

Указанные замечания не снижают научной значимости и общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение

Считаем, что диссертационная работа Геревенкова Петра Игоревича «Сверхбыстрое лазерно-индуцированное изменение магнитной анизотропии и возбуждение распространяющихся магнитостатических волн в тонких металлических пленках» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 "Физика конденсированного состояния" согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Геревенков Пётр Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Доклад Геревенкова Петра Игоревича по материалам диссертации был заслушан и обсуждён на заседании кафедры физики открытых систем Института физики Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского (протокол №13 от 08.09.23). На все вопросы, возникшие во время обсуждения, были получены ответы.

Отзыв составил доцент кафедры физики открытых систем СГУ, кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.03, доцент, Садовников Александр Владимирович.

Заведующий кафедрой физики открытых систем СГУ, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.03, профессор

Короновский Алексей Александрович

08 сентября 2023 г.

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

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

Тел: +7 (8452) 26-16-96

e-mail: rector@sgu.ru