

Отзыв

официального оппонента 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"

Одной из актуальных на сегодняшний день задач магноники является разработка подходов для создания гибридных магнитофотонных устройств, что позволит увеличить быстродействие и реализовать оптически-перестраиваемые структуры. С этой целью в работе Геревенкова Петра Игоревича рассматривается термическое влияние фемтосекундных лазерных импульсов на индуцируемую прецессию намагниченности и распространяющиеся магнитостатические волны. Подобное термическое взаимодействие является одним из наиболее универсальных механизмов возбуждения системы, не налагающее дополнительных требований на электронную структуру образца. Полученные результаты представляют фундаментальный интерес, демонстрируя возможность описания релаксационных процессов после сверхбыстрого нагрева в рамках существующих законов в магнитостатике. Прикладной интерес данной работы заключается в возможности применения всех рассматриваемых процессов в устройствах магноники. В Главе 4 отдельно изучается возможность применения одиночного волновода для создания компактных устройств.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Полный объем диссертации 111 страниц, включая 24 рисунка и 2 таблицы.

Глава 1 содержит обзор методов возбуждения и детектирования динамики намагниченности в тонких ферромагнитных плёнках. Подробно рассмотрены оптические методы с использованием фемтосекундных лазерных импульсов. Отдельные разделы посвящены влиянию релаксационных процессов и границ магнитной среды на возбуждаемую прецессию намагниченности и распространяющиеся магнитостатические волны. Обсуждаются существующие в данной области знаний вопросы, на основании которых сформулированы задачи, решаемые в диссертационной работе.

В Главе 2 предложена экспериментальная методика, позволяющая определять значения параметров магнитокристаллической кубической и ростовой одноосной анизотропий, в различные моменты времени после оптического возбуждения. Экспериментально продемонстрирована выполнимость степенного закона между намагниченностью насыщения и параметром кубической анизотропии в процессе релаксации. Продемонстрирована зависимость показателя степенного закона от толщины плёнки для двух значений 5 и 10 нм.

Глава 3 посвящена полностью оптическому возбуждению и детектированию распространяющихся магнитостатических волн, индуцируемых термическим изменением анизотропии после фокусировки лазерных импульсов фемтосекундной длительности. Продемонстрирована возможность управления параметрами возбуждаемой волны при помощи изменения направления внешнего магнитного поля в плоскости плёнки.

В Главе 4, используя результаты предыдущих глав, проведено микромагнитное моделирование лазерно-индуцированных распространяющихся магнитостатических волн в одиночном микрополосковом волноводе пермаллоя. Продемонстрировано, что вклады дипольных полей на границах структуры приводят к возбуждению однонаправленных волн при приближении области накачки к краю волновода.

Среди полученных в работе **новых** результатов можно отметить наиболее значимые:

1) На примере тонких ферромагнитных плёнок галфенола (FeGa) экспериментально продемонстрирована выполнимость степенного закона между намагниченностью насыщения и параметром магнитокристаллической анизотропии в процессе релаксации после сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева. Установлены величины показателя степенного закона, который демонстрирует зависимость от толщины плёнки и не совпадает с теоретически предсказанными значениями для объёмного материала в условиях термодинамического равновесия.

2) Сверхбыстрое термическое изменение параметра магнитокристаллической анизотропии под воздействием сфокусированного фемтосекундного лазерного импульса приводит к возбуждению распространяющихся магнитостатических волн в плёнке галфенола. При этом параметры возбуждаемых волн зависят от величины и направления внешнего магнитного поля и не зависят от состояния поляризации возбуждающих импульсов.

3) Использование экспериментально полученных параметров лазерно-индуцированной термической накачки и последующей релаксации в микромагнитном моделировании возбуждения волн в одиночном волноводе позволило предсказать однонаправленное распространение волны. Данный эффект наблюдается при приближении области возбуждения к одному из краёв волновода. При приближении области возбуждения к противоположному краю волновода направление распространения меняется на противоположное.

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

Результаты диссертационной работы и развитые в ней подходы представляют интерес для использования в фундаментальных и прикладных исследованиях сверхбыстрых процессов в тонких ферромагнитных плёнках и структурах на их основе, в частности при построении элементов магноники.

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

1. В Главе 2 указано, что для изучения ММЭК и ПМЭК использовались две разные лазерные системы с различной частотой повторения импульсов и различные длины волн возбуждения и зондирования. Помимо этого, длины волн в экспериментах в Главах 2 и 3 также различны. В чём причина выбора разных лазерных систем для исследования и длин волн? Имеются ли ограничения для использования одной длины волны для накачки и

зондирования, либо необходимо проведение двухцветного эксперимента накачка-зондирование?

2. На Рис 2.3 показаны зависимости магнитных параметров от времени задержки Δt , полученные из петель гистерезиса, в частности изучается зависимость для M_s . Для пленки 10 нм и $J = 14$ мДж/см² при временах более 1 нс зависимость сильно отличается от других случаев. Какова причина различного характера зависимости величины M_s от времени при двух значениях J для случаев пленки с толщиной 5 и 10 нм?

3. Возможно ли предположить, какие бы были результаты в Главе 2 для пленки толщиной 20 нм, почему в Главе 2 и 3 использованы пленки разной толщины? Были ли еще другие отличия между образцами, к примеру, в составах?

4. На сколько отличалась фокусировка света в экспериментах в Главе 3 (сильно сфокусированные фемтосекундные лазерные импульсы) от параметров, использованных в экспериментах в Главе 2? В Главе 3 диаметр пятна накачки 0,8 мкм, но не указан диаметр пятна зондирования. Действительно ли были области, когда накачка и зондирование не перекрывались?

5. В Главе 4 в качестве материала волновода выбран пермаллой, хотя в других главах речь идет о галфеноле. Чем обусловлен данный выбор? Какие ограничения существуют на данный момент для проведения эксперимента?

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

Заключение

Считаю, 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 её автор Геревенков Пётр Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук по специальности 1.3.8, в.н.с. - зав. лаб. Физики магнитных гетероструктур и спинтроники для энергосберегающих информационных технологий, МФТИ.

08 сентября 2022 г.

Чернов Александр Игоревич

Контактные данные

Почтовый адрес: 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Научный переулок 4, 3.336

Телефон: +7 (495) 408-45-44

e-mail: chernov.ai@mipt.ru