

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

СПбГУ

С. В. Микушев

« 01 » сентября 2022 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

- федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский Государственный Университет»
на диссертационную работу
ШЕЛУХИНА ЛЕОНИДА АНДРЕЕВИЧА
**«СВЕРХБЫСТРОЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЕ
ПОДАВЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ
В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ МЕТАЛЛОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ»,**
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.8 — физика конденсированного состояния

Управление намагниченностью в магнитныхnanoструктурах и плёнках на субпикосекундных временных масштабах — это важная задача в фундаментальных исследованиях явления, получившего название фемтомагнетизм. В качестве одного из перспективных подходов к решению такой задачи рассматривается использование фемтосекундных лазерных импульсов. При их воздействии на ферромагнетик уже обнаружены сверхбыстрое размагничивание, изменение обменного взаимодействия, полностью оптическое переключение намагниченности, обратные магнитооптические эффекты. Однако, в этих случаях есть существенные ограничения на управление намагниченностью, связанные с особенностями электронной структуры магнитных материалов и условиями лазерного

возбуждения. В диссертации Л.А.Шелухина в качестве универсального механизма воздействия на магнитное состояние материала рассматривается сверхбыстрый лазерно-индукционный нагрев, который приводит, в частности, к изменению магнитной анизотропии. Таким образом, эта работа направлена на решение **актуальной научной** задачи по поиску универсального механизма управления намагниченностью.

Несмотря на фундаментальную направленность исследований, результаты работы могут быть использованы также и в **прикладных областях**. Все основные результаты получены при комнатной температуре, и параметры демонстрируемых эффектов можно настраивать в широких пределах, что является ключевыми условиями для разработки устройств обработки, передачи и хранения информации.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 126 страниц, включая 29 рисунков и 2 таблицы.

В Главе 1 представлен обзор литературы по сверхбыстрому лазерно-индукционному изменению магнитной анизотропии, а также содержится перечень открытых вопросов в этой области. В данной главе сформулирована основная научная проблема, рассматриваемая в диссертации.

В Главе 2 изложены принципы экспериментальных и теоретических подходов, использованных в работе. Основным методом изучения воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на магнитную анизотропию в работе является детальный анализ характеристик магнитной прецессии в зависимости от условий возбуждения.

Глава 3 посвящена влиянию сверхбыстрого лазерно-индукционного нагрева на магнитоупругую анизотропию в ферромагнитном слое структуры CoFeB/BaTiO₃. Основным вопросом, рассмотренным в этой главе, является поиск эффективного способа управления магнитоупругим взаимодействием при помощи сверхбыстрого лазерно-индукционного нагрева.

В Главе 4 представлены результаты по воздействию сверхбыстрого лазерно-индукционного нагрева на интерфейсную анизотропию в

структуре туннельного магнитного перехода CoFeB/MgO/CoFeB. В этом разделе рассмотрено влияние сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на баланс между конкурирующими вкладами интерфейсной анизотропией и анизотропией формы.

В Главе 5 рассматривается влияние сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на параметры ростовой магнитной анизотропии в плёнке висмут-замещённого феррита-граната с ориентацией (210). Выбор образца обусловлен низкой симметрией подложки, что позволяет выделить эффективное воздействие фемтосекундных лазерных импульсов на различные параметры ростовой анизотропии.

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

1) Впервые продемонстрировано сверхбыстрое лазерно-индуцированное уменьшение магнитоупругого параметра B_1 на примере структуры композитного мультиферроика CoFeB/BaTiO₃. Показано, что такое воздействие на магнитоупругую анизотропию следует степенному закону с $n(n + 1)/2 = 3$. Продемонстрировано прецессионное переключение намагниченности в отдельном магнитном домене CoFeB с задаваемой подложкой направлением оси анизотропии.

2) Впервые экспериментально показано усиление подавления интерфейсной анизотропии в результате лазерно-индуцированного нагрева в структуре туннельного магнитного перехода CoFeB/MgO/CoFeB. Результатом этого становится спин-переориентационный переход, что может быть использовано на практике для лазерно-индуцированного переключения намагниченности. Такой переход реализуется при умеренной плотности энергии накачки $J = 2 \text{ мДж/см}^2$ благодаря усилию подавления интерфейсной анизотропии при высоких значениях сверхбыстрого размагничивания.

3) Впервые экспериментально показано воздействие сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на параметры магнитной анизотропии в диэлектрике на примере висмут-замещенного феррита-граната. Предложен и апробирован подход к разделению вкладов в возбуждение прецессии

намагниченности от лазерно-индукционного изменения параметров одноосной и ромбической ростовой анизотропии ΔK_i и ΔK_{yz} .

Следует особо подчеркнуть, что в диссертационной работе использована современная экспериментальная техника и достаточно сложные теоретические расчеты, что делает работу высокопрофессиональной.

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. Для объяснения сверхбыстрой динамики магнитного момента используется механизм, связанный с нагревом исследуемого образца лазерным импульсом. Очевидно, что установление термодинамического равновесия в электрон-фононной и спиновой подсистемах требует определенного времени, составляющего, по крайней мере, несколько пикосекунд. В диссертации, однако, говорится о субпикосекундной динамике намагниченности. Можно ли говорить о тепловом механизме на временах, короче пикосекунды?
2. Большинство экспериментов сделано при комнатной температуре образца. При этом, в ряде случаев наблюдаются очень маленькие величины относительного изменения намагниченности (менее 1%), например, на рисунке 23. Нельзя ли увеличить сигнал путем изменения температуры образца, приближая ее к температуре магнитного фазового перехода, или подбирая энергию накачки так, чтобы образец нагревался до критической температуры?
3. На странице 54 делается утверждение: «Тем не менее, значительное уменьшение детектируемой амплитуды прецессии во внешних полях выше 30 мТл — это надёжный признак прецессионного переключения в результате сверхбыстрого уменьшения магнитоупругого параметра». Нужно отметить, что речь идет об относительной намагниченности порядка 1%, см. рис. 9(с), причем разброс экспериментальных точек сопоставим с этой величиной. Нет ли другого признака переключения намагниченности?
4. Есть замечания к оформлению диссертации. В подписях к рисункам, содержащим экспериментальные данные (например, рис. 8, 9, 18), не указаны энергии возбуждения, хотя это один из ключевых параметров

эксперимента. Подпись к рисунку 6 в автореферате не соответствует содержанию рисунка. В подписях к рисункам встречается выражение «Нормализованная амплитуда». Почему не «относительная амплитуда»? Существительное «нормализация» означает приведение чего-то в нормальное состояние. Имеются также опечатки в словах (например, на стр. 46 в словах «определяется внешним магниным...») и нарушение правил пунктуации.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и являются, скорее, пожеланиями к будущему продолжению исследований.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в трёх оригинальных статьях и одной обзорной статье в журналах Physical Review B, Physical Review Applied, Журнал технической физики, Nanoscale и лично представлены соискателем на 18 международных и российских конференциях. Основные положения диссертации, выносимые на защиту, обладают безусловной научной новизной. Работа выполнена на высоком научном уровне и вносит существенный вклад в исследование сверхбыстрых процессов вnanoструктурах по направлениям магноника и спинtronика. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к использованию в фундаментальных и прикладных исследованиях сверхбыстрых процессов в nanoструктурах по направлениям магноника и спинtronика, в том числе в Национальном исследовательском университете «МЭИ», МГУ им. М. В. Ломоносова (г. Москва), РТУ МИРЭА (г. Москва), СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (г. Саратов), Институте физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), ФГБУН Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург), МФТИ (г. Долгопрудный) и др.

Заключение

Считаем, что диссертационная работа Шелухина Леонида Андреевича «Сверхбыстрое лазерно-индуцированное подавление магнитной анизотропии

в тонких плёнках металлов и диэлектриков» 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 Шелухин Леонид Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа Л.А. Шелухина заслушана и обсуждена на совместном научном семинаре кафедры физики твердого тела и лаборатории «Оптика спина» им. И.Н.Уральцева Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» 26.04.2022. На все вопросы, возникшие во время обсуждения, были получены ответы.

Отзыв ведущей организации подготовили:

профессор с возложением обязанностей
заведующего кафедрой физики твердого тела СПбГУ,
доктор физико-математических наук

Вербин
Сергей Юрьевич

Тел.: 428-45-46
Эл. почта: s.verbin@spbu.ru

Игнатьев
Иван Владимирович

профессор кафедры физики твердого тела СПбГУ,
доктор физико-математических наук

Тел.: 428-48-40
Эл. почта: i.ignatiev@spbu.ru

Адрес организации:
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург,
Университетская наб., д. 7/9
Тел.: 363-62-58
Эл. почта: science@spbu.ru
Веб-сайт: <http://spbu.ru/>