

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Шелухина Леонида Андреевича «Сверхбыстрое лазерно-индуцированное подавление магнитной анизотропии в тонких плёнках металлов и диэлектриков», представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 "Физика конденсированного состояния"

В связи с растущими объёмами производимых данных, необходимо разрабатывать более быстрые и энергоэффективные альтернативы существующим устройствам передачи и обработки информации. В рамках этой глобальной задачи существует потребность в управлении намагниченностью в магнитных наноструктурах на субпикосекундных временных масштабах. Ранее уже были продемонстрированы явления, возникающие при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов на магнитоупорядоченные материалы, однако, подавляющее большинство таких эффектов ограничено требованиями к электронной структуре магнитных сред либо к условиям лазерного возбуждения. Таким образом, диссертация Шелухина Леонида Андреевича «Сверхбыстрое лазерно-индуцированное подавление магнитной анизотропии в тонких плёнках металлов и диэлектриков» направлена на решение **актуальной** задачи по поиску универсального воздействия, меняющего магнитное состояние материала, в качестве которого в работе рассматривается сверхбыстрый лазерно-индуцированный нагрев, в частности, приводящий к изменению магнитной анизотропии, в результате чего меняется *ориентация* намагниченности.

Все результаты, представленные в работе, получены при комнатной температуре, а наблюдаемые процессы могут быть оптимизированы в конкретных структурах. Кроме того, рассмотренные эффекты могут быть реализованы в широком классе материалов, что позволяет перейти от **фундаментальных** исследований к **прикладным**.

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

Глава 1 содержит подробный обзор работ по управлению намагниченностью в результате сверхбыстрого лазерно-индуцированного изменения магнитной анизотропии, выполненных на момент написания работы, а также содержит перечень открытых вопросов в этой области. На основании обзора сформулированы задачи, на решение которых направлена диссертационная работа.

В Главе 2 изложены принципы экспериментальных методик и теоретических подходов, использованных в работе, которые основаны на детальном рассмотрении параметров магнитной прецессии в зависимости от условий возбуждения, на основании чего можно дать оценку сверхбыстрого лазерно-индуцированного изменения магнитной анизотропии.

Глава 3 посвящена влиянию сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на магнитоупругую анизотропию, доминирующую в ферромагнитном слое структуры $\text{CoFeV}/\text{BaTiO}_3$. Основной проблемой, рассмотренной в этой главе, был способ управления магнитоупругим взаимодействием при помощи фемтосекундных лазерных импульсов.

Глава 4 содержит результаты по влиянию сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на интерфейсную анизотропию в структуре с туннельным магнитным переходом CoFeB/MgO/CoFeB. В такой структуре сосуществуют два конкурирующих вклада в магнитную энергию: анизотропии формы и интерфейсной анизотропии. В этой главе показано, как воздействие фемтосекундного лазерного импульса меняет соотношение между этими вкладами.

В Главе 5 рассматривается влияние сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на параметры ростовой магнитной анизотропии в низкосимметричной плёнке висмут-замещённого феррита-граната, выращенной на подложке гадолиний галлиевого граната с ориентацией (210). Такая ориентация подложки с низкой симметрией позволяет оценить вклады от изменения различных параметров ростовой магнитной анизотропии в возбуждение прецессии намагниченности.

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

1) В структуре композитного мультиферроика CoFeB/BaTiO₃ воздействие фемтосекундного лазерного импульса приводит к уменьшению магнитоупругого параметра B_1 , подчиняющемуся степенному закону с $n(n + 1)/2 = 3$, установленному для температурных изменений магнитоупругой анизотропии, доминирующей в слое CoFeB. Этот эффект позволяет локализовано возбуждать прецессию намагниченности и прецессионно её переключать в отдельном магнитном домене CoFeB с задаваемой подложкой направлением оси анизотропии.

2) В структуре с туннельным магнитным переходом CoFeB/MgO/CoFeB воздействие фемтосекундных лазерных импульсов полностью подавляет перпендикулярную магнитную анизотропию ферромагнитных электродов CoFeB. Это приводит к спин-переориентационному переходу и может быть использовано для лазерно-индуцированного переключения туннельного магнитного перехода между состояниями с параллельной и ортогональной взаимными ориентациями намагниченностей в электродах. Такой переход достигается при умеренной плотности энергии возбуждающего импульса $J = 2$ мДж/см² благодаря усилению подавления вклада интерфейсной анизотропии при сверхбыстром размагничивании более 20%.

3) В эпитаксиальной плёнке висмут-замещённого феррита-граната на низкосимметричной подложке гадолиний-галлиевого граната воздействие фемтосекундных лазерных импульсов приводит к изменению всех параметров ростовой анизотропии в результате сверхбыстрого нагрева и позволяет возбуждать прецессию намагниченности при произвольном направлении внешнего магнитного поля. Начальная фаза прецессии зависит от соотношения между изменениями различных параметров анизотропии, что позволяет установить его из экспериментальных данных. Кроме того, управлять начальной фазой прецессии в пределах $[-\pi/2; +\pi/2]$ можно, меняя направление внешнего магнитного поля.

Основные результаты по теме диссертации изложены в трёх оригинальных статьях и одной обзорной статье, опубликованных в журналах Physical Review B, Physical Review Applied, Журнал технической физики, Nanoscale, а также представлены на 18 международных и российских конференциях. Полученные в работе результаты и сформулированные положения являются новыми, достоверными и обоснованными.

Результаты диссертационной работы и развитые в ней подходы **рекомендованы к использованию** в фундаментальных и прикладных исследованиях сверхбыстрых процессов в наноструктурах, в частности магноники и спинтронике, проводимых в таких организациях как ФТИ им. А. Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург), РТУ МИРЭА (г. Москва), СПбГУ (г. Санкт-Петербург), НИУ ИТМО (г. Санкт-Петербург), СПбПУ им. Петра Великого (г. Санкт-Петербург), МГУ им. М. В. Ломоносова (г. Москва), Российском Квантовом Центре (г. Москва) и др.

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

1. В третьей главе, при обсуждении механизма лазерно-индуцированного изменения магнитоупругой анизотропии в структуре композитного мультиферроика $\text{CoFeV}/\text{BaTiO}_3$ не рассмотрены возможные изменения свойств сегнетоэлектрической подложки. Хотя лазерные импульсы не воздействуют на подложку напрямую, нельзя исключать влияния возбужденных лазером горячих электронов CoFeV на приповерхностный слой подложки.
2. Экспериментальная методика изучения сверхбыстрой магнитной динамики в структуре с туннельным магнитным переходом $\text{CoFeV}/\text{MgO}/\text{CoFeV}$ изложена не достаточно полно. Остается не ясным, как автору работы удалось дифференцировать воздействие лазерных импульсов на свободный и закрепленный слои CoFeV . Кроме того, следовало более подробно описать часть, связанную с измерением спиновой динамики от двух слоёв CoFeV , т.к. отраженный зондирующий импульс несёт информацию о намагниченности в обоих слоях.
3. Для дополнительного подтверждения ряда выводов, сделанных в главе 4, следовало бы провести аналогичный эксперимент со структурой, содержащей только один слой CoFeV .

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

Заключение

Считаю, 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.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.03, доцент МГУ им. М.В. Ломоносова, Руководитель группы "Магнитоплазмоника и сверхбыстрый магнетизм" Российского квантового центра

Официальный оппонент

Белотелов Владимир Игоревич

Доктор физико-математических наук, профессор РАН
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова", доцент
г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2,
тел.: +7(495)939-11-34
email: belotelov@physics.msu.ru

09 сентября 2022 г.

Подпись Белотелова заверяю.

Декан физического факультета

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова".

профессор

Сысоев Николай Николаевич

