

## 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"

Основными носителями информации в облачных хранилищах на сегодняшний день являются магнитные жёсткие диски благодаря невысокой стоимости. Однако по сравнению с твердотельными носителями запись на такие устройства осуществляется гораздо медленнее и с большими тепловыми потерями. Таким образом, поиск способа управлять намагниченностью в магнитных наноструктурах на временных масштабах порядка пикосекунды — это важная практическая и фундаментальная задача. В этой области ранее уже было продемонстрировано влияние фемтосекундных лазерных импульсов на магнитные материалы, однако, в основном связанные с таким воздействием эффекты ограничены требованиями к электронной структуре магнитных сред или к условиям лазерного возбуждения. Таким образом, работа Шелухина Леонида Андреевича «Сверхбыстрое лазерно-индуцированное подавление магнитной анизотропии в тонких плёнках металлов и диэлектриков» направлена на решение **актуальной** задачи по поиску универсального механизма управления намагниченностью, в качестве которого рассматривается сверхбыстрый лазерно-индуцированный нагрев, приводящий к изменению магнитной анизотропии.

Все основные результаты получены для магнитных материалов и структур, которые уже находят применение в спинтронике и магнонике, эффекты, рассматриваемые соискателем, наблюдаются при комнатной температуре, при этом параметры демонстрируемых эффектов можно настраивать в широких пределах, что открывает перспективы для дальнейшего перехода от **фундаментальных исследований**, представленных в работе, к поисковым и **прикладным**.

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

Глава 1 — это достаточно подробный обзор литературы по механизмам сверхбыстрого лазерно-индуцированного изменения магнитной анизотропии, которые были изучены до работ соискателя, об открытых вопросах в данной области. На основании обзора литературы в заключении данной главы

сформулированы физические проблемы, решению которых посвящена диссертационная работа.

Глава 2 содержит описание экспериментальных и теоретических подходов, использованных в работе. Особенностью выбранного соискателем теоретического и экспериментального подходов является детальное изучение параметров магнитной прецессии, возбуждаемой лазерным импульсом, для определения отклика магнитной анизотропии на такое воздействие.

В Главе 3 рассмотрено воздействие сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на магнитоупругую анизотропию, доминирующую в ферромагнитном слое структуры  $\text{CoFeV}/\text{BaTiO}_3$ . Основной задачей, решаемой в данной главе, было выявить способы управления магнитоупругим взаимодействием при помощи фемтосекундных лазерных импульсов.

В Главе 4 анализируется влияние сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на интерфейсную анизотропию в структуре туннельного магнитного перехода  $\text{CoFeV}/\text{MgO}/\text{CoFeV}$ . Особенностью этой структуры является тонкий баланс между анизотропией формы и интерфейсной анизотропией. В этой главе решалась задача эффективного управления соотношением между этими вкладами на пикосекундных временных масштабах.

В Главе 5 рассматривается влияние сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на параметры ростовой магнитной анизотропии в плёнке висмут-замещённого феррита-граната с ориентацией (210). Выбор объекта исследования обусловлен наличием низкосимметричной ориентацией подложки (210), что позволяет выделить вклад в возбуждение прецессии намагниченности от изменения параметров ростовой анизотропии.

Среди полученных в работе **новых** результатов хотелось бы выделить следующие:

- 1) В структуре композитного мультиферроика  $\text{CoFeV}/\text{BaTiO}_3$  воздействие фемтосекундного лазерного импульса ведёт к уменьшению магнитоупругого параметра  $B_1$ , подчиняющемуся степенному закону с  $n(n + 1)/2 = 3$ . Таким образом, был впервые явно выделен и изучен отклик магнитоупругой анизотропии на сверхбыстрых лазерно-индуцированный нагрев. Помимо возбуждения прецессии намагниченности, в результате такого изменения магнитоупругой анизотропии в отдельном магнитном домене  $\text{CoFeV}$  с задаваемой подложкой направлением оси анизотропии было выявлено прецессионное переключение намагниченности.

2) В структуре туннельного магнитного перехода CoFeB/MgO/CoFeB под влиянием фемтосекундных лазерных импульсов перпендикулярная магнитная анизотропия ферромагнитных электродов CoFeB полностью подавляется. В результате происходит спин-переориентационный переход, что может быть использовано для лазерно-индуцированного переключения такой структуры между различными состояниями взаимной ориентации намагниченностей в электродах. Этот режим реализуется при умеренной плотности энергии импульса накачки  $J = 2$  мДж/см<sup>2</sup> благодаря увеличению подавления интерфейсной анизотропии, когда сверхбыстрое размагничивание превышает 20%.

3) В пленке висмут-замещённого феррита-граната на низкосимметричной подложке гадолиний-галлиевого граната воздействие фемтосекундных лазерных импульсов, связанное с нагревом, приводит к изменению всех параметров ростовой анизотропии. Начальная фаза прецессии, запущенной в результате этого, зависит от отношения между изменениями различных параметров анизотропии, что можно установить по экспериментальным данным. Кроме того, начальная фаза прецессии может быть изменена направлением внешнего магнитного поля в пределах  $[-\pi/2; +\pi/2]$ .

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 представлены соискателем лично на 18 международных и российских конференциях. Полученные в работе результаты и сформулированные положения являются новыми и достоверными. Выводы диссертации обоснованы и не вызывают сомнений.

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

1. В третьей главе, автором приведены результаты влияния сверхбыстрого лазерно-индуцированного нагрева на магнитоупругую анизотропию в ферромагнитном слое структуры CoFeB/BaTiO<sub>3</sub>. Немного неясно, чем был обусловлен выбор именно подложки из BaTiO<sub>3</sub> для создания упругих деформаций.
2. В этой же главе на мой взгляд можно было привести более детальные оценки по влиянию упругих деформаций на магнитные свойства плёнки CoFeB.
3. В тексте диссертации имеются незначительные грамматические и пунктуационные ошибки.

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

Результаты диссертационной работы можно **рекомендовать к использованию** в работе научных и учебных учреждений, в которых ведутся исследования по направлению магнетизма, в том числе в Национальный исследовательский университет МЭИ», ФГБУН ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (г. Москва), ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (г. Фрязино), СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (г. Саратов), Институт физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (г. Санкт-Петербург), ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург) и другие.

Автореферат адекватно и в полной мере отражает содержание 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, кандидат физико-математических наук по специальностям 01.04.03 и 01.04.05, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского", доцент кафедры физики открытых систем СГУ, зам. директора НИИМФ СГУ.

Садовников Александр Владимирович

19 августа 2022 г.

### **Контактные данные**

Адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83  
тел.: +79033868480  
e-mail: Sadovnikovav@gmail.com

