

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.01  
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе  
Российской академии наук  
по диссертации  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 22.09.2022 № \_\_\_\_\_

О присуждении Шелухину Леониду Андреевичу  
Гражданину Российской Федерации,  
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Сверхбыстрое лазерно-индуцированное подавление магнитной анизотропии в тонких плёнках металлов и диэлектриков» по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 29 июня 2022 г., протокол №4, диссертационным советом ФТИ 34.01.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул. д.26. Диссертационный совет утвержден приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75, прил. 1 от 12 июля 2019 г., приказами Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе от № 15 от 19.01.2021 г. и № 13 от 21.01.2022 г. об изменении состава диссертационного совета ФТИ 34.01.01 и приказом Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 160 от 21.12.2021 г. о внесении изменений в шифры специальностей диссертационных советов.

Соискатель Шелухин Леонид Андреевич, 1989 г.р., в 2013 году окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский Государственный университет» по специальности «Прикладные математика и физика». Экзамены по специальности 1.3.8 (01.04.07) – «физика конденсированного состояния» успешно сданы соискателем в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе в 2014-2015 гг. В настоящее время соискатель работает в должности

исполняющего обязанности младшего научного сотрудника в лаборатории физики ферроиков Федерального бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории физики ферроиков Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Научный руководитель – Калашникова Александра Михайловна, PhD, и.о. ведущего научного сотрудника - заведующий лабораторией физики ферроиков Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Белотелов Владимир Игоревич, доктор физико-математических наук, профессор РАН, доцент МГУ им. М. В. Ломоносова, доцент; руководитель группы "Магнитоплазмоника и сверхбыстрый магнетизм" Российского квантового центра, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 3 замечания.

2. Садовников Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем, заместитель директора НИИМФ СГУ им. Н. Г. Чернышевского, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 3 замечания.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет" предоставила положительное заключение на диссертацию, содержащее 4 замечания. Заключение подготовлено доктором физико-математических наук, профессором с возложением обязанностей заведующего кафедрой физики твердого тела СПбГУ Вербиным Сергеем Юрьевичем и доктором физико-математических наук, профессором кафедрой физики твердого тела СПбГУ Игнатьевым Иваном Владимировичем. В заключении указано, что содержание диссертации Шелухина Л. А соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.8 – «Физика

конденсированного состояния», а соискатель Шелухин Л. А. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что один из них имеет ученую степень доктора наук, а второй - кандидата наук, работают в различных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении ученых степеней. Выбранные оппоненты являются широко известными специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что СПбГУ ведет активные исследования в различных областях физики конденсированного состояния, в частности в области оптических и спиновых явлений в магнитных гетероструктурах. Кафедра физики твердого тела - одни из лидеров в России в области оптически-индуцированной спиновой динамики. В СПбГУ проходят защиты по специальности 1.3.8 - физика конденсированного состояния.

Основное содержание диссертации представлено в 4 научных статьях, опубликованных в журналах, индексируемых в международной системе цитирования Web of Science:

1. Ultrafast laser-induced changes of the magnetic anisotropy in a low symmetry iron garnet film / L. A. Shelukhin, V. V. Pavlov, P. A. Usachev, P. Y. Shamray, R. V. Pisarev, A. M. Kalashnikova // *Phys. Rev. B*. — 2018. — Т. 97, вып. 1. — С. 014422.
2. Laser-Induced Magnetization Precession in Individual Magnetoelastic Domains of a Multiferroic  $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}/\text{BaTiO}_3$  Composite / L. A. Shelukhin, N. A. Pertsev, A. V. Scherbakov, D. L. Kazenwadel, D. A. Kirilenko, S. J. Hämäläinen, S. van Dijken, A. M. Kalashnikova // *Phys. Rev. Applied*. — 2020. — Т. 14, вып. 3. — С. 034061.
3. Сверхбыстрое лазерно-индуцированное управление магнитной анизотропией наноструктур / А. М. Калашникова, Н. Е. Хохлов, Л. А. Шелухин, А. В. Щербаков // *Журнал технической физики*. — 2021. — Т. 91, № 12. — С. 1848—1878.

4. Spin reorientation transition in CoFeB/MgO/CoFeB tunnel junction enabled by ultrafast laser-induced suppression of perpendicular magnetic anisotropy / L. A. Shelukhin, R. R. Gareev, V. Zbarsky, J. Walowski, M. Munzenberg, N. A. Pertsev, A. M. Kalashnikova // *Nanoscale*. — 2022. — Т. 14, вып. 22. — С. 8153—8162.

На автореферат поступило 5 отзывов.

1. Отзыв к.ф.-м.н. Бессонова Владимира Дмитриевича, старшего научного сотрудника лаборатории магнитных полупроводников ФГБУН Института физики металлов УрО Российской академии наук, положительный, содержит 1 замечание, касающееся справедливости описания динамики намагниченности с помощью уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта в случае, если величина намагниченности изменяется во времени в результате лазерного воздействия.
2. Отзыв д.ф.-м.н. Игнатъевой Дарьи Олеговны, старшего научного сотрудника Российского квантового центра, положительный, содержит 1 замечание, касающееся использования неточного понятия "умеренная плотность энергии" в Положениях.
3. Отзыв к.ф.-м.н. Каца Владимира Наумовича, и.о. научного сотрудника лаборатории оптических явлений в сегнетоэлектрических и магнитных кристаллах Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе, положительный, замечаний не содержит.
4. Отзыв д.ф.м.н. Писарева Романа Васильевича, главного научного сотрудника лаборатории оптических явлений в сегнетоэлектрических и магнитных кристаллах Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе, положительный, замечаний не содержит.
5. Отзыв д.ф.м.н. Филимонова Юрия Александровича, директора Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова, и к.ф.м.н. Хивинцева Юрия Владимировича, заведующего лабораторией магнитоэлектроники этого института, положительный, замечаний не содержит.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем работ по экспериментальному изучению воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на тонкие плёнки ферро- и ферромагнитных металлов и диэлектриков, были получены следующие основные результаты:

1. Воздействие фемтосекундным лазерным импульсом на металлические и диэлектрические магнитные пленки с выраженной магнитной анизотропией ростовой, магнитоупругой или интерфейсной природы приводит к обратимому уменьшению соответствующих параметров анизотропии, связанному с нагревом, возникающим на пикосекундном и сохраняющимся на наносекундном временных масштабах.
2. В структуре композитного мультиферроика  $\text{CoFeV}/\text{BaTiO}_3$  с доминирующим вкладом магнитострикционной природы в анизотропию ферромагнитной металлической пленки  $\text{CoFeV}$  воздействие фемтосекундного лазерного импульса приводит к уменьшению магнитоупругого параметра  $B_1$ , подчиняющемуся степенному закону с  $n(n + 1)/2 = 3$ , установленному для температурных изменений такого типа анизотропии. Лазерно-индуцированное уменьшение магнитоупругого параметра  $B_1$  в отдельном магнитном домене  $\text{CoFeV}$  с задаваемой подложкой направлением оси анизотропии позволяет локализованно возбуждать прецессию намагниченности и переключать её через прецессию.
3. В структуре с туннельным магнитным переходом  $\text{CoFeV}/\text{MgO}/\text{CoFeV}$  воздействие фемтосекундных лазерных импульсов приводит к полному подавлению перпендикулярной магнитной анизотропии ферромагнитных электродов  $\text{CoFeV}$ , включающей конкурирующие вклады интерфейсной анизотропии и анизотропии формы. В электроде с толщиной 1.2 нм это возможно при умеренной плотности энергии возбуждающего импульса  $J = 2 \text{ мДж/см}^2$  благодаря отклонению изменений параметра интерфейсной анизотропии от степенного закона с  $n(n + 1)/2 \approx 2.3$ , возникающему при сверхбыстром размагничивании, величина которого превышает 20%. Полное подавление перпендикулярной магнитной анизотропии 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.

4. В эпитаксиальной пленке висмут-замещённого феррита-граната на низкосимметричной подложке гадолиний-галлиевого граната, характеризующейся одноосными и орторомбическим вкладом в анизотропию ростовой природы, 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 определяется соотношением между изменениями различных параметров, что позволяет установить его из экспериментальных данных, а также создает возможность управлять начальной фазой прецессии в пределах  $[-\pi/2; +\pi/2]$ , меняя направление внешнего магнитного поля.

Все научные результаты являются новыми и имеют фундаментальную значимость для более глубокого понимания воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на магнитные плёнки. Полученные результаты по наблюдению динамики намагниченности, индуцированной лазерно-индуцированным подавлением магнитной анизотропии, открывают перспективы по использованию таких явлений для оптического управления намагниченностью в тонких плёнках и гетероструктурах, перспективных для применения в устройствах спинтроники и магноники.

Полученные результаты позволили соискателю сформулировать и защитить следующие положения:

1. Сверхбыстрый лазерно-индуцированный нагрев диэлектрика ферримагнетика феррита-граната приводит к уменьшению параметров

ростовой анизотропии материала, происходящему на пикосекундной временной шкале и релаксирующему на наносекундных временах. Траектория возбуждаемой вследствие нагрева прецессии намагниченности позволяет определить относительное лазерно-индуцированное изменение различных вкладов в ростовую анизотропию.

2. Сверхбыстрый лазерно-индуцированный нагрев ферромагнитного аморфного металлического сплава CoFeB приводит к уменьшению параметра магнитоупругой анизотропии  $B_1$ , происходящему на пикосекундной временной шкале и релаксирующему на наносекундных временах. В отдельных магнитоупругих доменах композитного мультиферроика CoFeB/BaTiO<sub>3</sub> лазерно-индуцированное уменьшение магнитоупругого параметра  $B_1$  приводит к возбуждению прецессии и прецессионному переключению намагниченности.
3. Сверхбыстрый лазерно-индуцированный нагрев сверхтонкой пленки аморфного ферромагнитного сплава CoFeB, имеющего интерфейс с MgO, приводит к полному подавлению перпендикулярной магнитной анизотропии. Это возможно при умеренной плотности энергии в лазерном импульсе, благодаря усилению подавления интерфейсной анизотропии с увеличением сверхбыстрого размагничивания.

Достоверность представленных в диссертации результатов и обоснованность положений подтверждена применением современных экспериментальных методов исследования, таких как магнитооптические эффекты Керра и Фарадея в режиме накачка-зондирование, в том числе с микронным пространственным разрешением, воспроизводимостью и согласованностью полученных результатов, описание результатов на основе феноменологических теорий, а также системностью проводимых исследований, наличием ссылок на опубликованные работы в работах других групп. Полученные результаты прошли апробацию на 18 международных и российских конференциях, опубликованы в 3 оригинальных статьях в рецензируемых журналах по физике конденсированного состояния, а также вошли в обзорную статью.

Все представленные в диссертации результаты получены непосредственно автором или при его активном участии, что подробно указано в тексте автореферата.

Диссертация Шелухина Л. А. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в развитие таких актуальных направлений современной физики конденсированного состояния, как спинтроника и магноника.

На заседании 22 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Шелухина Л. А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 13 докторов по специальности 1.3.8 - «физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 13, против – 0, недействительных бюллетеней – 0. 1 член Диссертационного совета, научный руководитель соискателя, временно выведен из состава на период проведения заседания.

Председатель  
диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук

Кусраев Юрий Георгиевич

ВРИО ученого секретаря  
диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук

Павлов Виктор Владимирович

22 сентября 2022 г.