

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.238.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13.10.2022 № 8

О присуждении Скороходову Евгению Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Зондовая магнитно-резонансная силовая спектроскопия ферромагнитных наноструктур» по специальности 1.3.2 — приборы и методы экспериментальной физики – принята к защите 30 июня 2022 г. (протокол заседания №4) диссертационным советом 24.1.238.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения (ФГБНУ) «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603950 г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ о создании диссертационного совета номер 670/нк от 30 июня 2017 года.

Соискатель Скороходов Евгений Владимирович, 1984 года рождения, в 2008 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» по направлению «Радиофизика», освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ННГУ им.Н.И. Лобачевского (срок обучения 01.09.2008 – 31.08.2011), работает в должности научного сотрудника отдела магнитных наноструктур Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный

исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе магнитных наноструктур Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Миронов Виктор Леонидович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела магнитных наноструктур Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1. Шур Владимир Яковлевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (ИЕНиМ УрФУ), профессор кафедры физики конденсированного состояния и наноразмерных систем ИЕНиМ УрФУ.
2. Логунов Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КазНЦ РАН)– в своем **положительном отзыве**, составленном и подписанном Бухараевым Анастасом Ахметовичем, доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, и утвержденном Калачевым Алексеем Алексеевичем, доктором физико-математических наук, директором Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КазНЦ РАН), указала, что «В рамках диссертационной работы

Скороходова Е.В. был развит метод магнитно-резонансной силовой микроскопии (МРСМ), обладающего большой чувствительностью, и позволяющего регистрировать локальные резонансы пленок и отдельных наночастиц. Данный метод позволяет не только изучать, но также и управлять спектром ферромагнитного резонанса (ФМР). С помощью метода МРСМ автором был исследован ФМР в многослойных пленках CoPt с перпендикулярной магнитной анизотропией; микрополоске пермаллоя; нанопроволоке V-образной формы, содержащей доменную стенку и магнитном диске, находящемся в вихревом магнитном состоянии.». В конце отзыва делается заключение, что диссертация Скороходова Евгения Владимировича полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (п. 9 «Положения ВАК о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в редакциях постановления Правительства РФ)), а он сам несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2- приборы и методы экспериментальной физики.

Соискатель по теме диссертации имеет 11 опубликованных работ в рецензируемых научных журналах:

1. Скороходов, Е. В. Магнитно-резонансный силовой микроскоп на базе зондового комплекса «Solver-HV»/ Е. В. Скороходов, М. В. Сапожников, А. Н. Резник, В. В. Поляков, В. А. Быков, А. П. Володин, В. Л. Миронов // Приборы и техника эксперимента - 2018. – т.5. – С.140-145.

2. Skorokhodov, E.V. Magnetic resonance force spectroscopy of multilayer films Co/Pt with perpendicular magnetic anisotropy / Skorokhodov E.V., Sapozhnikov M.V., Ermolaeva O.L., Gusev N.S., Fraerman A.A., Mironov V.L.// Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2021. - V. 518. – P. 167396.

3. Skorokhodov, E.V. Ferromagnetic resonance in submicron permalloy stripes / Skorokhodov E.V., Gorev R.V., Yakubov R.R., Demidov E.S, Khivintsev Yu.V., Filimonov Yu.A., Mironov V.L. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. - 2017. – P.118.

4. Горев, Р.В. Моделирование ферромагнитного резонанса в микрополоске прямоугольной формы / Горев Р.В., Скороходов Е.В., Миронов В.Л. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2016. - номер 3. - С.37.

5. Скороходов, Е.В. Магнитно-резонансная силовая спектроскопия массива микрополосок пермаллоя / Скороходов Е.В., Сапожников М.В., Миронов В.Л. // Письма в Журнал технической физики. - 2018. - Т. 44. № 5 (53). - С. 49.

6. Skorokhodov, E.V. Manifestation of ferromagnetic resonance of permalloy microstripes in magnetic force spectroscopy measurements / Skorokhodov E.V., Gorev R.V., Sapozhnikov M.V., Mironov V.L. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2019. - V. 491. – P. 165538.

7. Горев, Р.В. Моделирование взаимодействия зонда магнитно-резонансного силового микроскопа с ферромагнитным образцом / Горев Р.В., Скороходов Е.В., Миронов В.Л. // Журнал технической физики. – 2019. – Т.89. – С.1646.

8. Горев, Р.В. Ферромагнитный резонанс во взаимодействующих магнитных микрополосках / Горев Р.В., Скороходов Е.В., Миронов В.Л. // Физика твердого тела. – 2016. – Т.58. – С. 2135.

9. Volodin, A. Ferromagnetic resonance force microscopy of individual domain wall / Volodin A., Van Haesendonck C., Skorokhodov E. V., Gorev R. V., and Mironov V. L. // Applied Physics Letters. -2018. –V.113. - P. 122407.

10. Миронов, В.Л. Магнитно-резонансная силовая спектроскопия колебаний магнитного вихря/ В.Л. Миронов, Е.В. Скороходов, Д.А. Татарский, И.Ю. Пашенькин// Журнал технической физики. – 2020. - **90**(11). - С. 1821 – 1824.

11. Tatarskiy, D.A. Impact of magnetic resonance force microscope probe on gyrotropic mode of magnetic vortex oscillations / Tatarskiy D.A., Mironov V.L., Skorokhodov E.V., Fraerman A.A. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2022. – V.522. – P. 169152.

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют. Личный вклад соискателя в опубликованные по теме диссертации работы является определяющим.

На автореферат диссертации поступило 3 отзыва (все положительные):

- 1) Толстихина Алла Леонидовна, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального научно-исследовательского центра “Кристаллография и фотоника” РАН в отзыве на автореферат отмечает, что «наиболее интересными и практически важными результатами являются регистрация ФМР одиночной доменной стенки в V-образной микрополоске и управление резонансной частотой магнитного вихря в ферромагнитном диске».
- 2) Филимонов Юрий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, директор Саратовского филиала ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН дал положительную оценку на автореферат диссертации, в которой «получен ряд результатов, расширяющих представление о спинволновых возбуждениях в магнитных наноструктурах, а также открывающих возможности для дальнейшего изучения динамических магнитных явлений применительно к наномасштабам».
- 3) Бахтизин Рауд Загидович, заслуженный профессор БашГУ, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физической электроники и нанофизики Физико-технического института БашГУ дал положительную оценку на автореферат диссертации. Среди наиболее интересных результатов отмечает разработку оригинального магнитно-резонансного силового микроскопа для исследования ФМР магнитных наноструктур в диапазоне 0.1-20 ГГц во внешнем магнитном поле до 3500 Э. А также «важно отметить, что все экспериментальные результаты получены с помощью отечественного и оригинального оборудования».

Выбор ведущей организации и официальных оппонентов обосновывается тематической близостью диссертационного исследования соискателя и их научных исследований, посвященных применению методов зондовой микроскопии в физике; изучению физики магнитных явлений (ведущая организация – более 10 публикаций, оппонент Шур В.Я. – более 10 публикаций, оппонент Логунов М.В. – более 10 публикации, за последние 5 лет).

Диссертационный совет отмечает, что в работе, на основании выполненных соискателем исследований:

Разработан и реализован метод магнитно-резонансной силовой микроскопии на базе серийного сканирующего зондового микроскопа “SOLVER HV”.

Изучены МРСМ спектры пленок Co/Pt для различных конфигураций магнитного момента; прямой и V-образной микрополосок; магнитный вихрь в ферромагнитном диске.

Подтверждено, что перестройка доменной структуры пленки Co/Pt ведет к существенной перестройке спектров ферромагнитного резонанса. **Сделаны** оценки параметра магнитной анизотропии, размеров магнитных доменов, величины обменного межслоевого взаимодействия в пленке Co/Pt.

Для микрополоски V-образной формы **обнаружен** ферромагнитный резонанс на частоте 1.6 ГГц и получено магнитно-резонансное изображение образца, подтверждающее, что данный резонанс связан с колебаниями намагниченности доменной стенки.

Продемонстрировано влияние поля зонда магнитно-резонансного силового микроскопа на гиротропную моду резонансных колебаний магнитного вихря в ферромагнитном диске. **Зарегистрировано** переключение полярности кора вихря полем зонда магнитно-резонансного микроскопа. **Доказано**, что модель зонда в виде однородно намагниченного шара находится в хорошем согласии с экспериментальными данными и может быть использована для прогноза величины смещения резонансной частоты гиротропной моды и высот, на которых происходит переключение кора вихря, для зондов с разными магнитными моментами.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики:

– Развитые в работе экспериментальные методы позволяют исследовать и перестраивать ФМР спектры отдельных магнитных наночастиц. Получены

новые знания о локальных динамических свойствах тонких ферромагнитных пленок и ферромагнитных наночастиц.

-Полученные результаты могут представлять практическую ценность для разработки устройств источников сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения на основе спин-трансферных наноосцилляторов, СВЧ – фильтров на основе пленок с перпендикулярной анизотропией.

Оценка достоверности результатов исследования:

– достоверность результатов работы обеспечивается использованием апробированных в ИФМ РАН и других лабораториях методик для их получения;

– полученные экспериментальные результаты соотносятся с расчетами и литературными данными.

Личный вклад соискателя состоит в отработке методик получения МРСМ спектров на разработанном в ИФМ РАН магнитно-резонансном силовом микроскопе; получении всех МРСМ спектров в рамках диссертационной работы; создании методом электронной литографии ферромагнитных наноструктур. Подготовка всех публикаций по выполненной работе проводилась с участием соискателя, он также принимал непосредственное участие в постановке задач и обсуждении полученных результатов.

В ходе защиты диссертации официальным оппонентом М.В. Логуновым было высказано следующее замечание: «Данные магнитно-резонансной силовой микроскопии для пленок с размерами доменов 0,5-0,25 мкм получены автором при расстоянии от кантилевера до пленки 6-8 мкм, т.е. являются усредненными по площади пленки. Их следовало бы сравнить с данными ФМР, полученными методом ЭПР спектроскопии.»

Соискатель Скороходов Е.В в своём ответе сообщил, что исследование магнитно-резонансных свойств неоднородных состояний в ЭПР спектрометре очень затруднительно, а в данном случае и невозможно, т.к. в спектрометре спектры ФМР получаются в виде зависимости поглощения от внешнего магнитного поля,

которое ведет к разрушению неоднородного магнитного состояния. Кроме того, пленки кобальт-платина настолько тонкие (суммарная толщина магнитных слоев около 2 нм), что в обычных ЭПР спектрометрах их изучение затруднено.

На заседании 13.10.2022 г. диссертационный совет, за разработку метода магнитно-резонансной силовой микроскопии и решение научной задачи исследования ферромагнитного резонанса в тонких магнитных пленках с перпендикулярной анизотропией, находящихся как в однородном, так и в неоднородном магнитных состояниях, а также изучения ферромагнитного резонанса в отдельных магнитных нанобъектах, находящихся в однородном магнитном состоянии, в вихревом состоянии и в состоянии с доменной стенкой, принял решение присудить Скороходову Е.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.2. —приборы и методы экспериментальной физики), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь диссертационного совета



Красильник З.Ф.

Водолазов Д.Ю.

Дата оформления Заключения 13.10.2022 г.