

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор Башкир

д. ф.-м. н

дарственного университета,

Морозкин Н. Д.

«19» апреля 2017 года

ОТЗЫВ

ведущей организации Башкирского государственного университета —
Федеральное Государственное Бюджетное образовательное учреждение высшего
образования (БашГУ) на диссертацию **БИЗЯЕВА Дмитрия Анатольевича**
«Создание и исследование магнитных микро- и наноструктур методами
сканирующей зондовой микроскопии», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.11 – физика магнитных явлений

Диссертация Бизяева Д.А., представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 — «физика магнитных явлений», посвящена нескольким важным проблемам физики магнетизма. Большая часть работы связана с вопросами изготовления магнитных микро- и наноструктур с помощью метода зондовой литографии и исследования различных свойств таких структур в зависимости от морфологии, внешнего магнитного поля, температуры и т.д. В частности, в диссертации исследуется влияние протекания тока высокой плотности через нанопроволоки никеля на перестройку их магнитной структуры. Результаты исследований представляются важными для установления механизма такой перестройки. На основе анализа вольт-амперных характеристик предложен оригинальный метод определения температуры Кюри Ni нанопроволок. Выбранный объект интересен прежде всего для разработки приборов спинтроники, в частности, с точки зрения возможности влияния на магнитную подсистему объекта (который, как правило, имеет нанометровые размеры) посредством пропускания электрического тока, поляризованного по спину (spin-transfer torque effect, STT). Данное направление интенсивно развивается в последние годы, количество работ по данной тематике в ведущих научных журналах неуклонно растет. Поэтому важность и актуальность результатов, полученных соискателем, не вызывают сомнений.

Важное прикладное значение также имеет часть диссертации, посвященная определению коэрцитивной силы зондов, используемых в магнитно-силовом микроскопе. Результаты, полученные автором в данной области, вносят заметный вклад в расшифровку магнитно-силовых изображений, полученных в

сильных внешних магнитных полях.

Другая часть работы посвящена исследованию объектов с долгоживущими зарядовыми областями. Полученные результаты интересны, прежде всего, с точки зрения фундаментальных исследований. Экспериментальное наблюдение сильной зависимости электрического потенциала созданных зарядовых областей от внешнего магнитного поля вносит значительный вклад в развитие модели зарядово-фазового расслоения в низколегированных манганитах.

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, главы с описанием методики и техники экспериментов, трех глав с результатами исследований и заключения. Работа изложена на 149 страницах текста и включает: 46 рисунков, 2 таблицы, список условных сокращений, список публикаций автора из 20 наименований и библиографический список из 149 наименований.

Введение содержит актуальность работы, цели и задачи исследований, описание объектов и методов исследований. Также в нем изложена новизна, научная и практическая значимость полученных результатов.

Первая (обзорная) глава диссертации содержит анализ последних достижений в области сканирующей зондовой и зарядовой литографии. В ней описываются результаты теоретических и экспериментальных исследований действия импульсов тока и внешнего магнитного поля на ферромагнитные нанопроволоки, изготовленные из различных материалов, а также приводится описание различных методов определения коэрцитивной силы магнитных зондов и температуры Кюри ферромагнитных материалов. При этом автором продемонстрировано безусловное умение анализировать и обобщать результаты, известные из литературных источников.

Вторая глава является методической. В ней описаны используемые приборы и установки, способы создания образцов, а также методы их исследования.

В третьей главе приведены результаты, полученные с помощью сканирующей зондовой литографии. Рассмотрены преимущества и недостатки стандартных методов сканирующей зондовой литографии при изготовлении масок в полимерных пленках. Автором предложены новые методики сканирующей зондовой литографии, позволяющие изготавливать маски в полимерных пленках толщиной больше 50 нм, и показано, что использование селективного химического растворителя сложного состава после создания маски позволяет улучшить ее качество. Кроме этого, с использованием одной из разновидностей сканирующей зондовой литографии – зарядовой зондовой литографии – рассмотрен вопрос о влиянии внешнего магнитного поля на

величину электрического потенциала в центре индуцированных состояний, созданных на поверхности лантан-стронциевых манганитов.

Заметно выделяющаяся среди остальных *четвертая глава* посвящена новому методу определения коэрцитивной силы магнитных зондов в направлении их трудной оси намагничивания. В его основе лежит анализ профилей магнитно-силовых изображений, получаемых от тестовых микрочастиц кобальта в разных по величине и направлению внешних магнитных полях. В главе также приведены результаты компьютерного моделирования магнитно-силовых изображений и сравнение их с экспериментальными.

И, наконец, в последней, *пятой главе*, описаны результаты исследований по пропусканию тока высокой плотности через нанопроволоки Ni различного сечения. На основе этих исследований предложена новая методика определения температуры Кюри ферромагнитных нанопроволок. Рассмотрены вопросы о влиянии геометрических размеров нанопроволок на температуру Кюри, а также величины импульса тока и морфологии проволок на их магнитную структуру.

Новизна полученных результатов состоит в разработке оригинальных методов сканирующей зондовой литографии и их улучшения для получения масок в пленках полиметилметакрилата толщиной более 100 нм. С этой целью впервые для улучшения качества получаемых масок применен селективный химический растворитель сложного состава. Кроме этого, диссертантом разработана новая методика определения коэрцитивной силы магнитных зондов, используемых в магнитно-силовой микроскопии, и предложена новая методика определения температуры Кюри, основанная на графическом анализе зависимости критической мощности тока, определенной из вольт-амперных характеристик нанопроволоки, от её температуры.

Достоверность основных выводов, сформулированных диссертантом, определяется использованием современного научного и сертифицированного оборудования, согласованностью полученных результатов и выводов с данными, известными и опубликованными в научной литературе, а также проведением компьютерного моделирования наблюдаемых явлений. Материалы диссертации многократно докладывались и апробированы на различных международных и всероссийских научных конференциях, хорошо известны и одобрены научной общественностью. Они достаточно полно представлены в специализированных высокорейтинговых научных журналах.

Вместе с тем по содержанию диссертации **можно сделать некоторые замечания.**

1. Приведенные на Рис. 5.10 – 5.12 распределения магнитных моментов в нанопроволке Ni, смоделированное в программе OOMMF, малоинформативно, потому что они даны в одной плоскости, а следовало бы дать те же распределения в перпендикулярной плоскости. Тем более, что пакет OOMMF позволяет это сделать.

2. Хорошо известно, что существенное влияние на распределение магнитных моментов в Ni нанопроволке оказывает магнитострикция. К сожалению, в диссертации об этом ничего не сказано.

Тем не менее, приведенные замечания, не снижают общей высокой оценки представленной диссертации. **В целом, следует отметить**, что диссертационная работа Бизяева Д.А. демонстрирует высокую квалификацию автора как физика-экспериментатора и является существенным вкладом в области создания и исследования наноразмерных структур. В данной работе на высоком экспериментальном уровне решена задача получения литографических масок для формирования магнитных микро- и наноструктур, получены новые данные о процессах перестройки намагниченности в таких структурах под действием электрического тока или внешнего магнитного поля.

Приведенные замечания, однако, не снижают общей высокой оценки представленной диссертации. **В целом, следует отметить**, что диссертационная работа Бизяева Д.А. демонстрирует высокую квалификацию автора как физика-экспериментатора и является существенным вкладом в области создания и исследования наноразмерных структур. В данной работе на высоком экспериментальном уровне решена задача получения литографических масок для формирования магнитных микро- и наноструктур, получены новые данные о процессах перестройки намагниченности в таких структурах под действием электрического тока или внешнего магнитного поля.

Полученные результаты представляют большой интерес (**значимость**) и могут быть рекомендованы к использованию в следующих научных коллективах: Институт физики твердого тела РАН (г. Черноголовка), Физико-технический институт им. Иоффе (г. Санкт-Петербург), Институт физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург), ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (г. Москва), Московский государственный университет (г. Москва), Институт физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН (г. Москва) и других научных центрах, занимающихся исследованиями по данной проблеме.

Диссертация и автореферат написаны хорошим и понятным языком. Автореферат диссертации хорошо отражает её основное содержание и

показывают значимость личного вклада соискателя в полученные научные результаты. Тема диссертации, её содержание и опубликованные результаты полностью соответствуют паспорту специальности 01.04.11 “физика магнитных явлений”, что хорошо видно из списка публикаций диссертанта.

По своему содержанию, объему, достоверности, новизне, практической значимости полученных результатов диссертация Бизяева Дмитрия Анатольевича удовлетворяет всем требованиям п.9 Положения ВАК о порядке присуждения степеней, утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, и сам Д.А. Бизяев, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Диссертационная работа была заслушана и обсуждена 15 апреля 2017 г. на объединенном семинаре кафедр «физической электроники и нанофизики» и «теоретической физики» Башкирского государственного университета.

Текст отзыва составили:

1. Заведующий кафедрой физической электроники и нанофизики Башкирского государственного университета,

доктор физ.-мат. наук, проф.

Бахтизин Рауф Загидович

«15» апреля 2017 года

Телефоны: 8 (347) 229-96-47 (раб.), 8(917) 410-98-71 (моб.).

E-mail: raouf@bsunet.ru, сайт: <http://www.bashedu.ru/kafedra-fizicheskoi-elektroniki-i-nanofiziki>,

Почтовый адрес: 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32, БашГУ.

2. Заведующий кафедрой теоретической физики Башкирского государственного университета,

доктор физ.-мат. наук, проф.

Вахитов Роберт Миннисламович

«15» апреля 2017 года

Телефоны: 8 (347) 229-96-45 (раб.), 8(919) 615-37-43 (моб.).

E-mail: vakhitovrm@mail.ru, сайт: <http://www.bashedu.ru/kafedra-teoreticheskoi-fiziki>,

Почтовый адрес: 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32, Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования Башкирский Государственный Университет (БашГУ)

17 апреля

17 г.