

ОТЗЫВ

официального оппонента
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.

Новые методы создания наноструктур и изучение их свойств является актуальной темой для фундаментальных и прикладных исследований. Так, большой интерес представляет изучение процессов перестройки доменной структуры в наноразмерных ферромагнитных объектах под действием внешних факторов, таких как внешнее магнитное поле, импульсы электрического тока или температуры. В последние годы данному вопросу посвящено много работ в разных ведущих научных журналах. Диссертация Бизяева Д.А. посвящена как созданию таких объектов исследования, так и установлению влияния внешних факторов на их магнитные и электрофизические свойства. Таким образом, тема диссертации, несомненно, **актуальна**, как с фундаментальной, так и с практической точек зрения.

Диссертация состоит из Введения, литературного обзора, четырех оригинальных глав и Заключения. Основные результаты диссертации представлены в 7 научных работах, опубликованных в ведущих российских и международных научных журналах в соответствии с пп. 11-14 «Положения о порядке присуждения научных степеней».

Во **Введении** дан обзор работ по рассматриваемой тематике и подчеркивается актуальность работы. Обосновываются цели и задачи исследований, а также приводится описание объектов и методов исследований. Там же оценивается новизна, научная и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава диссертации является литературным обзором. В ней имеется анализ последних достижений в областях сканирующей зондовой литографии. Представлено описание известных методов определения коэрцитивной силы магнитных зондов и температуры Кюри ферромагнитных материалов. Также в этой главе представлено описание результатов теоретических и экспериментальных исследований действия импульсов тока и внешнего магнитного поля на ферромагнитные нанопроволоки, изготовленные из различных материалов.

Вторая глава диссертации представляет собой методическую часть, в которой дано описание используемых приборов и установок, способы формирования с помощью масок образцов, а также методы их исследования.

Третья глава содержит результаты исследований по формированию литографических масок с помощью сканирующей зондовой литографии. В них указаны преимущества и недостатки стандартных методов. Представлены новые методики, позволяющие изготавливать маски в полимерных пленках толщиной больше 50 нм. Предложено использование селективного химического растворителя сложного состава для повышения качества созданных масок. Кроме этого, в главе имеются результаты по влиянию внешнего магнитного поля на величину электрического потенциала в центре индуцированных состояний, созданных на поверхности лантан-стронциевых манганитов с помощью зарядовой зондовой литографии.

Четвертая глава описывает новый метод определения коэрцитивной силы магнитных зондов в направлении их трудной оси намагничивания. Предложенный метод заключается в анализе профилей магнитно-силовых изображений, которые получены от тестовых микрочастиц кобальта в разных по величине и направлению внешних магнитных полях. Также в этой главе имеются результаты компьютерного моделирования магнитно-силовых изображений. Производится их сравнение с экспериментально полученными изображениями.

Пятая глава посвящена исследованию действия протекающего электрического тока высокой плотности через нанопроволоки никеля различного сечения. Рассматривается вопрос о влиянии на распределение намагниченности в нанопроволоках никеля величины импульса тока, геометрии и морфологии проволок. Проводится компьютерное моделирование распределения намагниченности в никелевых нанопроволоках в зависимости от ее температуры. По результатам исследований действия тока была предложена новая методика определения температуры Кюри ферромагнитных нанопроволок.

В Заключение представлены результаты и сформулированы основные выводы работы.

В качестве основных достижений обсуждаемой диссертационной работы можно выделить следующие результаты

1. Отработана технология создания масок для изготовления нанопроволок разного сечения с помощью сканирующей зондовой литографии.
2. Обнаружено и дано объяснение влияния внешнего магнитного поля на величину электрического потенциала в центре индуцированных состояний в лантан-стронциевых манганитах, созданных с помощью зарядовой зондовой литографии.
3. Представлен новый метод определения температуры Кюри ферромагнитных нанопроволок, основанный на графическом анализе критической мощности, подводимой к проволоке, от температуры. Оценка критической мощности является необходимой для того, чтобы

исключить перестройку доменной структуры за счет нагрева образца импульсом тока выше температуры Кюри.

4. Обнаружена и исследована доменная структура полученных никелевых нанопроволок. Предложен механизм перестройки распределения намагниченности в таких проволоках при пропускании через них импульса тока высокой плотности. Проведено компьютерное моделирование МСМ изображения и его сравнение с экспериментальными результатами.
5. Представлена новая методика определения коэрцитивной силы магнитных зондов в направлении их трудной оси намагничивания, основанная на анализе получаемых изображений от тестовых микрочастиц в разных по величине и направлению внешних магнитных полях.

Работа несвободна от недостатков, к каковым, на наш взгляд, следует отнести:

-Глава 1- В литературном обзоре нет чёткого разделения ссылок на свои и чужие работы. В ряде случаев при описании состояния вопроса помимо ссылок на работы других авторов (т.е на чужие результаты) диссертант ссылается и на свои работы. При этом становится трудным «определить границу»- что было сделано до данной работы, а что сделано самим диссертантом?

-Глава 3 (1-й раздел). Рассматриваются четыре способа индентирования-отталкиваясь от известного второго, предлагается его усовершенствовать. Разработаны третий метод (задержка зонда в нижней точке) и четвёртый способ (многократное воздействие зонда в одну точку). Однако далее делается вывод о том, что и третий и четвёртый методы дают худшие результаты. При этом не совсем понятно, в чём преимущества третьего и четвёртого методов и когда их можно применять.

-Глава 3 (3-й раздел) – даются очень интересные результаты по созданию индуцированных состояний на поверхности манганита и зависимости результата от потенциала и времени воздействия. К сожалению, в тексте и на Рис. 3.14 не приводятся данные о времени воздействия. Там же для описания временной зависимости потенциала в центре индуцированного состояния предлагаются два механизма формирования индуцированного состояния – Два различных механизма роста (появление кластеров и движение границы индуцированного состояния). Однако непонятно, почему эти механизмы действуют последовательно –второй включается только после окончания действия первого.

-Глава 4 посвящена исследованию коэрцитивной силы зондов- вопрос этот безусловно важен и полученные результаты интересны. Однако текст Главы, на наш взгляд, перегружен несущественными деталями, за которыми плохо просматривается основная идея предложенного метода. Последний, 2-й раздел Главы посвящён компьютерному моделированию- предложен усовершенствованный подход- но здесь напротив, никаких деталей не дано. По сути сказано лишь то, что новым является введение сферических координат. К сожалению, не дано объяснений зачем это нужно и каких-либо деталей модели или расчёта.

-Глава 5. Предложенный метод определения температуры Кюри (на примере никелевых нанопроволок) представляется (на первый взгляд) громоздким и надуманным, поскольку не описаны чётко его преимущества по сравнению, например, с прямым определением точки Кюри (измерение намагниченности образца от температуры). Очевидно, что предложенный метод является косвенным, однако в работе не дано оценки точности предлагаемого метода и границ его применимости.

Общее замечание – в Диссертации приводятся данные только по зондовой микроскопии и зондовым же методам анализа. На наш взгляд, было бы полезно применить и другие методы изучения получаемых структур- например, методы электронной микроскопии (СЭМ и ПЭМ).

- В тексте встречаются грамматические ошибки и неточности.

Приведенные замечания, однако, носят частный характер и относятся в основном к форме представления материала. Они ни коим образом не снижают общей высокой оценки представленной диссертации. **В целом диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченное исследование. Новизна, достоверность, а также обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений.**

Все основные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в семи рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, и доложены на российских и международных конференциях. В данной работе на высоком экспериментальном уровне решена задача формирования и исследования новых магнитных материалов методами СЭМ, что важно для изучения фундаментальных основ магнетизма в микро и наноструктурах, а также для разработки новых элементов магнитной памяти, индустрии магнитной записи и спинтроники.


Полученные результаты могут быть использованы в научных коллективах: Институт физики твердого тела РАН (г. Черноголовка), ФНИЦ

«Кристаллография и фотоника» РАН (г. Москва), Институт физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), и других научных центрах, занимающихся исследованиями по данной проблеме.

Автореферат и опубликованные работы отражают содержание диссертации. Таким образом, по своему содержанию, объему, достоверности, новизне, практической значимости полученных результатов диссертация Бизяева Дмитрия Анатольевича удовлетворяет требованиям п.9 «Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

К.ф.-м.н.

 Загорский Дмитрий Львович
12.05.2017

Ведущий научный сотрудник, доцент, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

119333, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, д. 59, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

Рабочий телефон: +7 (499)135-05-10

E-mail: dzagorskiy@gmail.com

Подпись Загорского Д.Л. удостоверяю

