

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук Колесниковой Валерии Григорьевны
«Исследование магнитных взаимодействий в гибких композитных
системах с нано- и микроразмерными ферромагнетиками»
по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений

Диссертационная работа Колесниковой В.Г. посвящена изучению мультиферроидных композитов. Несмотря на значительную разработанность темы, вопросы, связанные с возможностью контроля и управления магнитными свойствами ферромагнитных микропроводов, систем нано- и микрочастиц и композитов на их основе являются значимыми для различных практических приложений. Рассматриваемые в диссертационной работе вопросы, связанные с исследованием магнитных взаимодействий в магнитоэлектрических композитах, важны для того, чтобы развивать технологии разработки, создания и применения миниатюрных датчиков (например, магнитного поля), микрогенераторов, поэтому постановка задачи имеет **практическую значимость**.

Результаты исследования композитов на основе аморфных ферромагнитных микропроводов в стекле, магнитоактивных эластомеров с ферромагнитными и сегнетоэлектрическими микрочастицами, и магнитоэлектрических полимерных плёнок с магнитными наночастицами, приведенные в работе, дают новую физическую информацию о механизмах взаимодействия фаз в рассматриваемых гетерогенных системах. Понимание причинно-следственных связей между структурой композита и его магнитными характеристиками позволит создавать функциональные материалы с заданными физическими характеристиками поэтому, **актуальность** выбранной темы не вызывает сомнения.

Сформулированные цель и задачи диссертационной работы отвечают **критериям новизны**. Новыми являются и полученные при их решении основные результаты.

Обоснованность научных положений и выводов диссертации обеспечивается совокупностью аттестованных методик создания и подготовки объектов исследования, комплексом современных взаимодополняющих экспериментальных методов исследования и корректной интерпретацией данных. Описанию методов исследования посвящена вторая глава диссертации. Детальное рассмотрение этапов подготовки образцов, и обоснование выбора измерительных методик позволяет понять особенности получения экспериментальных результатов и их анализа. Все вышеизложенное указывает на достоверность данных, представленных в диссертации Колесниковой В.Г. Обоснованность научных положений и выводов исследования подтверждается сопоставлением собственных результатов с данными современных литературных источников.

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов, заключения, списка публикаций по теме диссертации и списка используемой литературы, которые изложены на 118 страницах. В тексте диссертации содержится 56 рисунков и 4 таблицы. Список цитируемой литературы содержит 221 статью.

Во введении дано общее описание работы, обоснованы ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе, являющейся литературным обзором по теме диссертации, представлены экспериментальные данные и теоретические модели описывающие основные результаты исследования гибких магнитных композитов. В первой главе автор диссертации суммирует и обобщает результаты исследования большого количества авторов по этой теме. Последовательно излагая важнейшие физические результаты, достигнутые в создании, изучении и применении магнитоэлектрических композитных

систем Колесникова В.Г. обосновывает постановку задачи собственной диссертационной работы.

Во второй главе детально описываются объекты исследования, а также экспериментальные методы изучения физических параметров образцов. На каждом этапе применяются комплементарные методы исследования: анализ структурных свойств образцов проводился с помощью методов сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии, магнитные свойства были исследованы с методами вибрационного магнитометра и ферромагнитного резонанса, а при исследовании магнитных свойств поверхности применялись магнитно-силовая и Керр-микроскопия. Подробно описаны методы анализа полученных результатов. Вся совокупность примененных в работе экспериментальных методик и способов анализа указывает на комплексный подход автора к исследованию.

В третьей главе содержатся результаты экспериментальных исследований магнитостатических взаимодействий бистабильных микропроводов $\text{Fe}_{74}\text{B}_{13}\text{Si}_{11}\text{C}_2$. Представлен анализ бистабильности микропровода при перемагничивании в переменном магнитном поле и проведение FORC-анализа для микропроводов при постоянной низкой частоте перемагничивающего поля с определением вклада концевых участков в микропроводах на величины полей перемагничивания.

В четвертой главе представлены результаты исследования структуры и магнитных свойств двухфазных микропроводов из сплава $\text{Fe}_{77,5}\text{B}_{15}\text{Si}_{7,5}$ с асимметричной напыляемой внешней оболочкой в одном случае из поликристаллического Co, во втором случае – из пермаллоя $\text{Ni}_{84}\text{Fe}_{16}$. Показано, что максимальная толщина напыляемого магнитного слоя составила 300 нм. При этом, размер зерен в слое Co (~30-40 нм) больше, чем в FeNi (~20-30 нм). Описана конфигурация доменной структуры покрытий, получены данные о гистерезисных характеристиках микропроводов с разными оболочками.

В пятой главе приведены результаты исследования магнитных свойств и магнитных взаимодействий в полимерных композитах на основе матриц из силикона и ПВДФ с микро- и наноразмерным магнитным наполнителем.

В заключении представлены выводы, обобщающие результаты работы, из которых следует успешное достижение цели и задач диссертационных исследований.

Автореферат достаточно точно и полно отражает основное содержание диссертации.

В то же время диссертационная работа Колесниковой В.Г. не лишена недостатков:

1. В методике изготовления полимерных композитов приводится протокол введения магнитных наночастиц, где частицы «выравнивали в магнитном поле от постоянных магнитов». При этом магнитное поле прикладывалось в плоскости чашки с раствором полимера с частицами во время полимеризации. В результате чего, после испарения растворителя "частицы иммобилизовались в полимерной матрице, при снятии магнитного поля получались однородные образцы". Посредством постоянных магнитов достаточно непросто создать однородное магнитное поле. Каким образом оценивалась степень магнитной текстуры наночастиц в полимерной матрице? Как отбирались идентичные образцы полимерных композитов для измерений?
2. В диссертационной работе приведены результаты исследования структуры поверхностных магнитных доменов на оболочках Co или FeNi двухфазных микропроводов и пленок методом магнитно-силовой микроскопии. Упоминается, что при этом применялись магнитные зонды и стандартная двухпроходная методика с подъемом зонда 50 нм. Однако, не указано какие именно кантилеверы применялись при МСМ-исследовании и каким образом исключалось влияние зонда на образец?
3. При измерении петель гистерезиса методом вибрационного магнитометра ход графиков будет зависеть от фактора формы образцов. Автор не

указывает в методике учитывался ли при построении графиков размагничивающий фактор.

4. В работе впервые показано, что на процесс перемагничивания микропроводов в значительной степени оказывают влияние их концевые домены, обсуждаются особенности смещения доменных стенок в переменном магнитном поле. Однако в обсуждении не уточняется какова структура доменной границы микропроводов.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными для ее общей положительной оценки и не снижают общего уровня представленной диссертационной работы.

Диссертация Колесниковой В.Г. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на современном уровне. Достоверность результатов и обоснованность выводов не вызывают сомнений. Основные результаты диссертации представлены в 5 публикациях в рецензируемых зарубежных журналах, входящих в базы данных Web of Science и Scopus и включенных в перечень ведущих периодических изданий ВАК. Результаты работы были апробированы на тематических всероссийских и международных научных конференциях. **Автореферат полностью отражает содержание диссертации.** Полученные в работе результаты могут быть использованы в работе лабораторий, научно-исследовательских центров и на предприятиях, использующих мультиферроидные композиты, а также могут быть востребованы в курсах лекций по магнитным материалам в ТвГУ, МГУ им. В.М. Ломоносова, НИТУ МИСИС и других университетах.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1 — 2.5

Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Колесникова В.Г. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений.

Я, Семенова Елена Михайловна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

25.09.2025

Кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры физики конденсированного состояния ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»
170100, Тверская область, г. Тверь,
ул. Желябова, д.33
+7 (4822) 58-55-83
semenova.em@tversu.ru

Семенова Елена Михайловна

Подпись Семеновой Е.М. заверяю
И.о. ученого секретаря
ФГБОУ ВО «Тверской
государственный университет»,
к.ф.-м.н.

Медведева Ольга Николаевна