

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НИР

Федерального государственного бюджетного
учреждения высшего образования «Кабардино-
Балкарский государственный университет им.
Х.М. Бербекова»,

член-корреспондент РАН,
доктор химических наук, профессор



Хаширова С.Ю.

«04» сентября 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Воронцова Станислава Андреевича «Разработка методов формирования и контроля структурно-фазовых и морфологических свойств композитов ПВДФ/CoFe₂O₄», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность работы обусловлена возрастающим интересом к разработке многофункциональных материалов с высокой электроактивностью и магнитоэлектрическим откликом. Композиты ПВДФ/CoFe₂O₄ представляют перспективу для применения в современных технологиях благодаря их уникальным свойствам. Исследование процессов формирования электроактивной β-фазы ПВДФ и роли наночастиц CoFe₂O₄ как центров кристаллизации отвечает современным вызовам в области физики конденсированного состояния и материаловедения.

Краткое содержание диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность темы, четко сформулированы цель и задачи исследования, определены ключевые положения, выносимые на защиту, а также подчеркнуты научная новизна и практическая значимость результатов. Указаны сведения об апробации работы и личном вкладе автора, что демонстрирует его активное участие в выполнении исследования.

Первая глава представляет собой подробный обзор литературы, посвященной изучению полимерных композитов с магнитными наночастицами. Особое внимание уделено анализу влияния технологических факторов на структурные и фазовые характеристики ПВДФ, а также магнитоэлектрические свойства композитов. Рассмотрены методы формирования композитов, такие как ракельное нанесение и DIW-печать, с акцентом на их преимущества и ограничения. На основе проведенного анализа сформулированы ключевые задачи исследования, направленные на оптимизацию процессов создания материалов.

Вторая глава описывает технологии изготовления композитов на основе ПВДФ с включениями наночастиц феррита кобальта. Подробно рассмотрены методы ракельного нанесения и DIW-печати, включая этапы подготовки растворов, нанесения покрытий и сушки. Описаны экспериментальные установки и методы анализа, такие как рентгеноструктурный анализ, инфракрасная спектроскопия и сканирующая электронная микроскопия, примененные для изучения структуры и свойств композитов.

Третья глава посвящена исследованию влияния технологических параметров, включая состав смеси и условия обработки, на формирование электроактивной β -фазы ПВДФ и морфологию композитов. Особое внимание уделено роли наночастиц как центров кристаллизации и их влиянию на структуру материала. Проведен сравнительный анализ свойств композитов, полученных разными методами, с акцентом на достижение однородной структуры и минимизацию дефектов.

Четвертая глава сосредоточена на изучении магнитоэлектрических свойств композитов. Рассмотрено, как технологические параметры и концентрация наночастиц влияют на магнитоэлектрический отклик. Проведено сравнение эффективности технологий ракельного нанесения и DIW-печати с точки зрения функциональных характеристик материалов.

Пятая глава посвящена сравнительному анализу технологий ракельного нанесения и DIW-печати для формирования композитов ПВДФ/ CoFe_2O_4 . Рассмотрены преимущества и ограничения методов с акцентом на контроль распределения наночастиц, минимизацию дефектов и повышение доли электроактивной β -фазы. Установлено, что ракельное нанесение обеспечивает

высокую однородность и воспроизводимость, а DIW-печать подходит для создания сложных 3D-структур. Определены оптимальные параметры, обеспечивающие высокую кристалличность. Результаты подтверждены методами СЭМ, ИК-спектроскопии и РСА, а рекомендации по выбору технологии подчеркивают их практическую значимость.

В заключении подведены итоги исследования, сформулированы основные выводы и предложены рекомендации по практическому применению полученных результатов в разработке новых материалов.

Научная новизна результатов работы

Полученные автором результаты обладают научной новизной. Основные положения, выносимые на защиту, включают:

1. Выявлены физические механизмы, определяющие влияние наночастиц феррита кобальта на кристаллическую структуру ПВДФ, включая формирование электроактивной β -фазы, что позволило глубже понять процессы кристаллизации в композитах.
2. Разработана методология комплексного анализа композитов, сочетающая рентгеноструктурный анализ, инфракрасную спектроскопию и сканирующую электронную микроскопию, которая обеспечивает точное определение фазового состава и морфологических особенностей материалов.
3. Проведено сравнительное исследование технологий ракельного нанесения и DIW-печати, позволившее определить оптимальные условия для получения композитов с однородной структурой и минимальными дефектами.
4. Установлена связь между технологическими параметрами, концентрацией наночастиц и магнитоэлектрическими свойствами композитов, что способствует разработке материалов с улучшенными функциональными характеристиками.

Практическая значимость

Работа имеет высокую практическую ценность благодаря разработке рекомендаций по выбору технологии и условий формирования композитов ПВДФ/ CoFe_2O_4 . Предложенные методы, включая использование ракельного нанесения и DIW-печати, позволяют создавать материалы с высокой воспроизводимостью, минимальной дефектностью и оптимальными

магнитоэлектрическими свойствами. Эти материалы могут быть использованы в производстве сенсоров для точного измерения физических величин, устройств преобразования энергии, а также в биомедицинских устройствах, таких как датчики для мониторинга физиологических параметров. Разработанные подходы обеспечивают возможность масштабирования технологий для промышленного применения, что делает результаты исследования востребованными в различных областях науки и техники.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность результатов исследования подтверждена использованием аттестованных методов анализа, включая рентгеноструктурный анализ, инфракрасную спектроскопию и сканирующую электронную микроскопию, которые соответствуют современным стандартам изучения материалов. Проведенные эксперименты подкреплены тщательным контролем условий, что обеспечило воспроизводимость данных.

Согласованность полученных результатов с теоретическими моделями, описывающими межфазное взаимодействие и магнитоэлектрические свойства, подтверждает их обоснованность. Личный вклад автора в разработку методик, проведение экспериментов и анализ данных подчеркивает его значительную роль в достижении результатов.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Результаты работы могут быть использованы в организациях, занимающихся научными и прикладными исследованиями в области физики магнитных явлений и материаловедения, например, в ИОФ РАН, ИКИ РАН, ИЗМИРАН, ЦНИИХМ, НИТУ МИСИС, НИЯУ МИФИ, МИРЭА.

Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе, при обзоре литературы, было бы полезно провести более детальное сравнение разработанных композитов с аналогичными материалами, чтобы подчеркнуть уникальность предложенных технологий.

2. В разделе, посвященном DIW-печати, целесообразно было бы более подробно рассмотреть влияние параметров экструзии (скорости и диаметра сопла) на морфологию композитов, что упоминается в тексте, но не раскрыто в полной мере.

3. В третьей главе диссертации рекомендуется дополнить анализ влияния размеров наночастиц CoFe_2O_4 на структурно-фазовые характеристики композитов, так как это может существенно повлиять на формирование β -фазы ПВДФ.

4. В четвертой главе следовало бы включить данные о долговременной стабильности магнитоэлектрических свойств композитов при различных условиях эксплуатации, чтобы усилить практическую значимость выводов.

Указанные замечания не носят принципиального характера, не затрагивают основного содержания работы и не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе

По материалам диссертационной работы опубликовано 17 работ, из которых 3 в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus и 2 в журналах из перечня ВАК. Полученные автором результаты докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях, и должная апробация результатов диссертации не вызывает сомнений.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Основные научные результаты, положения, выносимые на защиту, и выводы диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Воронцова С.А. «Разработка методов формирования и контроля структурно-фазовых характеристик композитов ПВДФ/ CoFe_2O_4 » является законченной научно-квалификационной работой, посвящена актуальной теме, выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне, содержит ряд новых, важных в научном и практическом плане результатов, достоверность которых не вызывает сомнений.

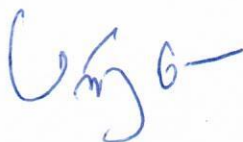
Работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», а её автор, Воронцов Станислав Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Отзыв ведущей организации диссертационной работы Воронцова С.А. рассмотрен и одобрен на ежемесячном междисциплинарном научно-

исследовательском и научно-практическом семинаре института математики и естественных наук Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова 02 сентября 2025 г., протокол № 04/25.

Отзыв составили:

профессор кафедры Компьютерных
технологий и информационной
безопасности института искусственного
интеллекта и цифровых технологий,
доктор физ.-мат. наук



Рехвиашвили С.Ш.

старший научный сотрудник Центра прогрессивных
материалов и аддитивных технологий,
кандидат техн. наук



Мусов И.В.

Сведения о ведущей организации

Полное наименование: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Сокращенное наименование: КБГУ им. Х.М. Бербекова

Почтовый адрес: 360004, Кабардино-Балкарская Республика г. Нальчик,
ул. Чернышевского, 173

Телефон: +7 (8662) 42-25-60

Электронная почта: yka@kbsu.ru

Сайт: <https://kbsu.ru/>