

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Воронцова Станислава Андреевича на тему **«Разработка методов формирования и контроля структурно-фазовых и морфологических свойств композитов ПВДФ/CoFe₂O₄»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»** и состоявшейся в НИТУ МИСИС 07 октября 2025 года

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 23.06.2025, протокол № 30.

Диссертация выполнена в образовательно-научном кластере «Институт высоких технологий» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет им. И. Канта».

Научный руководитель - директор НОЦ «Умные материалы и биомедицинские приложения» БФУ им. И. Канта, к.ф.-м.н. Родионова Валерия Викторовна.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом МИСИС (протокол № 30 от 23.06.2025) в следующем составе:

1. **Костишин Владимир Григорьевич** - д.ф.-м.н., заведующий кафедрой технологии материалов электроники НИТУ МИСИС - председатель комиссии;
2. **Ховайло Владимир Васильевич** - д.ф.-м.н., профессор кафедры функциональных нано-систем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСИС;
3. **Сенатов Федор Святославович** - д.ф.-м.н., директор Института биомедицинской инженерии НИТУ МИСИС;
4. **Зверев Владимир Игоревич** - д.ф.-м.н., профессор кафедры прикладной ядерной физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;
5. **Юрасов Алексей Николаевич** - д.ф.-м.н., заместитель заведующего кафедрой наноэлектроники Физико-технологического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет».

В качестве **ведущей организации** утверждено федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Проведён анализ физических механизмов взаимодействия магнитных наночастиц CoFe_2O_4 с полимерной матрицей ПВДФ, определяющих кристаллическую структуру, фазовый состав и электроактивные свойства композитов.

2. Исследовано влияние концентрации наночастиц CoFe_2O_4 (0–15 мас. %) на кристаллическую структуру ПВДФ, включая формирование β -фазы, и установлены параметры, обеспечивающие высокую электроактивность и магнитоэлектрический отклик.

3. Изготовлены композитные плёнки ПВДФ/ CoFe_2O_4 методами ракельного нанесения и DIW-печати, и изучено влияние этих методов на кристаллическую организацию, морфологию поверхности и функциональные характеристики материала.

4. Установлена зависимость кристаллической структуры, доли β -фазы и морфологических характеристик таких как пористость, распределение наночастиц от параметров сушки, концентрации растворителя ДМФА и содержания CoFe_2O_4 .

5. Разработана методология комплексного анализа кристаллической структуры, фазового состава и морфологии композитов ПВДФ/ CoFe_2O_4 с использованием рентгеноструктурного анализа (РСА), ИК-Фурье спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), фазово-контрастной микроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для количественной оценки степени кристалличности, доли β -фазы и равномерности распределения наночастиц.

6. Выявлена взаимосвязь между технологическими параметрами, кристаллической структурой, долей β -фазы, морфологическими характеристиками и магнитоэлектрическим откликом, включая влияние дефектов (пористость, агломерация) на функциональные свойства.

Теоретическая значимость работы заключается в установлении механизмов влияния CoFe_2O_4 на кристаллическую структуру ПВДФ, включая их роль как центров гетерогенной нуклеации, способствующих формированию β -фазы, что углубляет понимание процессов кристаллизации в полимерных композитах. Показано, что концентрация растворителя ДМФА, температура сушки и содержание наночастиц определяют ориентацию полимерных цепей, степень кристалличности и морфологические характеристики, минимизируя такие дефекты, как пористость и агломерация. Сформулированы принципы управления кристаллической структурой и электроактивными свойствами композитов ПВДФ/ CoFe_2O_4 на основе регулирования технологических параметров, что вносит вклад в физику конденсированного состояния, связанную с изучением фазовых переходов и функциональных свойств полимерных систем.

Практическая значимость заключается в получении композитов ПВДФ/ CoFe_2O_4 с высокой долей β -фазы и равномерным распределением наночастиц, что является

перспективным для применения в гибкой электронике, сенсорах и магнитоэлектрических устройствах благодаря их электроактивным и магнитоэлектрическим свойствам. Разработанная методология анализа кристаллической структуры и морфологии позволяет воспроизводимо получать материалы с заданными физическими характеристиками, минимизируя такие дефекты, как пористость и агломерация. Установлены оптимальные параметры концентрации CoFe_2O_4 , соотношения ПВДФ:ДМФА и удаления растворителя, обеспечивающие высокую электроактивность и магнитоэлектрический отклик, что способствует эффективному использованию ресурсов при производстве композитов.

Оценка достоверности результатов подтверждается всесторонним анализом литературных источников, логичной последовательностью постановки исследовательских задач, а также применением современных физических методов анализа и высокоточной приборной техники. Надежность полученных данных обеспечивается их воспроизводимостью и согласованностью результатов, полученных различными методами. Дополнительно валидность выводов подтверждается их соответствием фундаментальным научным представлениям о структуре и свойствах полимерных композитов. Комплексный подход к изучению влияния технологических параметров на фазовый состав и морфологию материалов гарантирует объективность полученных данных и их практическую значимость.

Личный вклад автора заключается в разработке и реализации экспериментальных подходов к изучению кристаллической структуры и свойств композитов ПВДФ/ CoFe_2O_4 , непосредственном участии во всех этапах работы, выполнении экспериментальных исследований, научном анализе и интерпретации полученных результатов. Автор принимал активное участие в обобщении выводов, подготовке публикаций, конкурсных работ и докладов по теме диссертации. Постановка задач исследования и обсуждение результатов работы проводились совместно с научным руководителем В.В. Родионовой.

Автор представил 17 печатных работ, из которых 4 научные статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ.

Пункт 2.6 Положения о присуждении ученой степени кандидата наук не нарушен.

Диссертация С.А. Воронцова полностью соответствует критериям п.2 Положения о присуждении ученых степеней НИТУ МИСИС. Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой определены механизмы формирования кристаллической структуры, электроактивных и магнитоэлектрических свойств композитов ПВДФ/ CoFe_2O_4 и их зависимости от технологических параметров для достижения высокой доли электроактивной β -фазы, равномерного распределения

наночастиц и минимальной дефектности, что в дальнейшем может быть использовано при разработке решений в сфере гибкой электроники и регенеративной медицине.

Содержание диссертационной работы соответствует положению о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС и квалификационным требованиям пункта 1, 2, 6 и 7 паспорта специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»:

1. Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы и свойств неорганических и органических соединений как в кристаллическом (моно- и поликристаллы), так и в аморфном состоянии, в том числе композитов и гетероструктур, в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления.

2. Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные и квантовые системы, системы пониженной размерности.

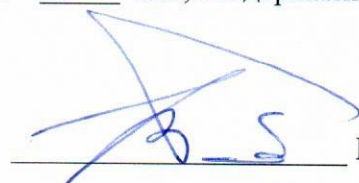
3. Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами.

4. Теоретические расчеты и экспериментальные измерения электронной зонной структуры, динамики решётки и кристаллической структуры твердых тел.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Воронцову Станиславу Андреевичу ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в составе 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за – 4 чел.; против – 0 чел.; воздержались – 0 чел.

Председатель Экспертной комиссии

 В.Г. Костишин

07.10.2025 г.