

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Воронцова Станислава Андреевича  
«Разработка методов формирования и контроля структурно-фазовых и морфологических  
свойств композитов ПВДФ/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ », представленной на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Воронцова С.А. посвящена решению актуальной научной задачи, связанной с разработкой и исследованием композиционных материалов нового поколения на основе поливинилиденфторида (ПВДФ), содержащего магнитострикционные наночастицы кобальт-феррита ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ). Такие материалы представляют интерес для применения в гибкой электронике, сенсорных устройствах, биомедицине, что подчёркивает актуальность выполненного исследования.

В автореферате диссертации последовательно представлены результаты теоретического анализа, экспериментальной постановки и практической апробации

Рассмотрены современные подходы к созданию магнитоэлектрических композитов, выполнен обзор работ по ПВДФ и его сополимерам, а также по использованию различных ферритных наночастиц. Чётко показано, что выбор системы ПВДФ– $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  оправдан как с точки зрения физики процессов, так и с позиции технологической реализуемости

Описаны методики синтеза наночастиц и способы формирования композитов (ракельное нанесение и DIW-печать). Подробно проанализировано влияние концентрации наночастиц и условий удаления растворителя на морфологию и дефектность плёнок

Приведены результаты комплексных исследований структуры и фазового состава композитов с использованием РСА, ИК-спектроскопии, электронной микроскопии и ДСК. Показано, что включение наночастиц  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  способствует формированию электроактивной  $\beta$ -фазы ПВДФ, а оптимальной концентрацией является 5–10 мас.%

В заключении сделаны выводы о механизмах гетерогенной кристаллизации  $\beta$ -фазы и обоснованы технологические параметры, обеспечивающие улучшенные функциональные характеристики.

Научная новизна работы заключается в выявлении механизма гетерогенной нуклеации  $\beta$ -фазы ПВДФ на поверхности наночастиц кобальт-феррита и в установлении оптимальных режимов формирования композитов, которые позволяют контролировать морфологию и фазовый состав материала.

Практическая значимость работы определяется разработкой технологических рекомендаций по получению полимерных композитов с повышенной долей  $\beta$ -фазы, что открывает возможности для их использования в гибкой электронике, сенсорах давления, медицинских имплантатах и носимых устройствах. Данное исследование обладает научной значимостью с точки зрения синтеза пьезополимера, заранее обладающих большой долей сегнетоэлектрической фазы без применения технологий по поляризации пьезополимерных образцов.



К сильным сторонам работы относятся:

1. Проведен комплексный сравнительный анализ различных методов изготовления пьезополимеров при различных условиях изготовления и различных составов, а также приведены рекомендации по выбору технологии изготовления в зависимости от целевого применения.
2. Обосновано использование широкого спектра современных методов анализа, причем каждый метод грамотно адаптирован под особенности исследуемых материалов.
3. Получены данные о магнитоэлектрическом эффекте в исследуемых образцах с различным содержанием магнитострикционной фазы, при этом показаны механизмы влияния магнитных наночастиц на формирование сегнетоэлектрической фазы.

Вместе с тем диссертация не лишена отдельных недостатков:

1. В работе отсутствует анализ долговременной стабильности свойств и возможных процессов деградации материалов при эксплуатации.
2. Формулировка общих выводов по работе имеет характер основных результатов работы, поэтому данный раздел следовало бы назвать «основные результаты и выводы».

Однако указанные замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Диссертация Воронцова Станислава Андреевича «Разработка методов формирования и контроля структурно-фазовых и морфологических свойств композитов ПВДФ/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния. Автор работы заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Я, Людмила Александровна Макарова, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Доцент кафедры магнетизма  
физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
канд. физ.-мат. наук



Макарова Людмила  
Александровна  
03 сентября 2025 г.

Адрес: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 2.

Телефон: 8-495-939-1847

Адрес электронной почты: la.loginova@physics.msu.ru

*Подпись доцента Макаровой Л.А. заверяю*

Ведущий специалист  
по кадрам

*Королевская К.Ш.*

