

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук Гареева Камиля Газинуровича на тему: «Магнитные нанокompозиты на основе многофазных систем с оксидами железа» по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений

Представленная диссертационная работа посвящена комплексному исследованию магнитных нанокompозитов, получаемых на основе многофазных систем с оксидами железа. Актуальность темы обусловлена широким спектром применения таких материалов в металлургии, микроэлектронике, информационных технологиях, медицине (магнитно-резонансная томография, магнитоуправляемая доставка лекарств, локальная гипертермия) и в решении задач по электромагнитной защите. Представленные исследования имеют как фундаментальную, так и практическую значимость.

Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, перечня сокращений, перечня обозначения и наименования основных физических величин и технических параметров, перечня терминов и определений и списка публикаций автора по теме диссертации (44 работы) и цитированной литературы (346 наименований), изложенных на 257 страницах.

Во введении обоснованно сформулирована актуальность исследования, обозначены цель, задачи и выносимые на защиту научные положения. Методы исследования включают разработку новых экспериментальных подходов к синтезу и структурной характеристике нанокompозитов, а также применение теоретического моделирования для анализа магнитных свойств. Апробация результатов проведена на профильных научных конференциях, что подтверждает достоверность полученных данных.

В главе 1 представлен подробный обзор литературы, посвящённый свойствам оксидов железа, их полиморфизму и особенностям фазовых превращений в наночастицах. Рассмотрены структурные особенности различных полиморфных модификаций (магнетит, гематит, маггемит, ϵ - Fe_2O_3) и их влияние на магнитные и электрические характеристики. Анализ фазовых диаграмм и зависимостей свободной энергии от размеров наночастиц позволяет обосновать многообразие физико-химических свойств исследуемых материалов.

Во **второй главе** изложены результаты экспериментальных исследований синтетических магнитных нанокомпозитов, полученных на основе модельной системы «оксиды железа – диоксид кремния» ($\text{Fe}_m\text{O}_n\text{-SiO}_2$). Описаны два подхода синтеза – двухступенчатый и одностадийный – позволяющие варьировать фазовый состав, размеры и форму зерен оксидов железа. Приведены данные по структурной характеристике (микроскопические изображения, рентгенофазовый анализ) и измерения магнитных свойств (кривые перемагничивания, значения намагниченности и коэрцитивной силы), что свидетельствует о высокой методологической проработке эксперимента.

Глава 3 посвящена сравнительному анализу естественных и природоподобных структур с оксидами железа. Исследованы образцы литогенного и биогенного происхождения, в том числе бактериальные магнитосомы и железосодержащие раковины фораминифер. Проведён детальный анализ морфологии и магнитных характеристик, что позволило выявить существенные различия между синтетическими и естественными образцами. Полученные результаты демонстрируют, что биогенные структуры характеризуются высокой химической чистотой и структурным совершенством, что имеет важное значение для фундаментальных исследований и практических применений.

Четвёртая глава содержит комплексное исследование магнитных свойств нанокомпозитов с использованием современных экспериментальных методов (магнитометрия, спектроскопия ядерного гамма-резонанса) и теоретического моделирования. Особое внимание уделено определению распределения ферримагнитных зерен по размерам, которое описывается единым логнормальным законом. Впервые экспериментально подтверждена возможность обнаружения малых (до 1 % объёма) долей суперпарамагнитных частиц, не выявляемых традиционными методами, что является значимым научным результатом.

В пятой главе исследовано влияние внешних воздействий – постоянного магнитного поля, лазерного и гамма-излучения – на микроструктуру и магнитные свойства нанокомпозитов. Проведён эксперимент по модификации фазового состава под действием внешних полей, что позволило установить пороговые уровни воздействия, способные вызвать направленное изменение магнитных характеристик. Результаты данных исследований имеют практическую значимость для разработки материалов с функцией электромагнитного экранирования и для применения в биомедицинских технологиях.

В главе 6 рассматриваются возможности применения разработанных методик в задачах магнитоуправляемой доставки лекарств и создания магнитных

жидкостей с высокой биосовместимостью. Представлены экспериментальные данные, подтверждающие стабильность коллоидных растворов и эффективность управления магнитными наночастицами под воздействием локальных магнитных полей. Данные результаты открывают перспективы для дальнейшей разработки функциональных материалов в медицине и нанотехнологиях.

Диссертационная работа Гареева К.Г. представляет собой законченный научный труд, содержащий существенные новые результаты, которые сформулированы в **Заключении**.

Научная новизна работы определяется следующими существенными результатами:

1. Впервые экспериментально доказано, что распределение ферритмагнитных зерен в магнитных нанокompозитах как по размерам, так и по полям перемагничивания описывается логнормальным законом.

2. Установлена возможность обнаружения малых долей суперпарамагнитных частиц, не выявляемых традиционными методами.

3. Впервые определены пороговые уровни воздействия магнитного поля и электромагнитного излучения, приводящие к изменению микроструктуры и магнитных свойств композитов.

4. Разработан единый технологический подход к синтезу магнитных нанокompозитов с возможностью точного регулирования основных физических характеристик.

5. Впервые экспериментально доказано, что с использованием предложенной физической модели на основе системы «оксиды железа-диоксид кремния» возможно изучение естественных и синтетических структур с оксидами железа в различных магнитных состояниях.

6. Впервые расчетным путем и экспериментально изучены особенности концентрирования наночастиц композита при их системном введении за счет локального воздействия постоянного магнитного поля, создаваемого имплантом на основе неодимового магнита цилиндрической формы.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных экспериментальных методик и независимой апробацией на национальных и международных конференциях. Теоретическое моделирование и тщательный анализ экспериментальных данных позволяют утверждать о достоверности и воспроизводимости результатов.

Практическая значимость диссертационной работы обусловлена разработкой новых методов синтеза магнитных нанокompозитов, способных

обеспечить управление их магнитными и электрическими характеристиками за счёт изменения фазового состава и морфологии оксидов железа. Полученные результаты открывают перспективы для создания магнитных жидкостей для использования в медицине (магнитно-резонансная томография, магнитоуправляемая доставка лекарств) и для разработки материалов, обеспечивающих эффективное экранирование электромагнитного излучения.

Рукопись диссертационной работы представляет собой системное изложение основных результатов исследования, характеризуется логичностью и последовательностью изложения материала. Изложение теоретических и экспериментальных аспектов выполнено на высоком уровне, что позволяет оценить не только глубокое владение проблематикой, но и высокую степень самостоятельности в решении поставленных задач. В работе прослеживается тесная взаимосвязь между теоретическим обоснованием и экспериментальной проверкой полученных данных.

В то же время, диссертационная работа Гареева К.Г. не лишена недостатков. По диссертационной работе имеются замечания.

1. Диссертант ограничил семейство объектов исследования исключительно магнитными композитами из микро- и наноразмерных наполнителей на основе элементарных оксидов железа. В то же время, расширение объектов исследования путем использования в качестве магнитных наполнителей микро- и нанопорошков $Y_3Fe_5O_{12}$ и элементарных ферритов-шпинелей существенно обогатило бы и украсило бы диссертационное исследование.

2. Используя в диссертации метод мёсбауэровской спектроскопии, автор еще раз доказал высокую информативность данного метода исследования. Однако, используется указанный метод в диссертации эпизодически, что не позволило диссертанту получить полный набор информации об объектах исследования.

3. Во введении диссертации, как и в разделе «Общая характеристика работы» отсутствует подраздел «Степень разработанности темы исследования», что затрудняет оценку научной новизны и практической работы учеными и инженерами, не являющимися узкими специалистами в области магнитных наноматериалов.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует 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 Гареев Камиль Газинурович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой Технологии Материалов Электроники
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС»

Костишин Владимир Григорьевич

24.04.2025

Контактные данные:

тел.: +7 495 638-46-51, e-mail: kostishin@misis.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 01.04.10 – физика полупроводников

Адрес места работы:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1

Тел.: +7 495 638-46-51

e-mail: kostishin@misis.ru

Подпись д.ф.-м.н. В.Г. Костишина удостоверяю