

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

Диссертационная работа посвящена комплексному исследованию магнитных нанокompозитов, полученных на основе многофазных систем с оксидами железа. **Актуальность** темы обусловлена широким спектром применения данных структур в микро- и нанoeлектронике, металлургии, медицине (магнитно-резонансная томография, магнитоуправляемая доставка лекарств, гипертермия в онкологии) и многих других областях человеческой деятельности. Наряду с таким широким спектром применения, работа имеет и важное фундаментальное значение в области физики магнитных явлений, физики наномира. Отмечу, что представленная диссертация демонстрирует глубокое теоретическое обоснование, детальное экспериментальное исследование и разработку новых технологических подходов.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, пяти о глав, описывающих основные результаты, заключения, перечня сокращений, перечня основных физических величин и технических параметров, перечня терминов и определений и списка литературы из 346 наименований. Работа содержит 105 рисунков.

Отмечу, что солидный объем текста, большое число иллюстраций и источников литературы свидетельствуют о глубокой проработке материала.

Глава 1 содержит хороший обзор литературы, в котором подробно описаны разнообразие кристаллических форм оксидов железа, механизмы их естественного и синтетического формирования, а также основные направления применения. Автор демонстрирует глубокое понимание

процессов, связанных с образованием и модификацией структур, что является фундаментом для дальнейших исследований.

Глава 2 посвящена разработке и оптимизации методов синтеза синтетических наноструктур ($\text{Fe}_m\text{O}_n\text{-SiO}_2$). Работа включает два подхода, позволяющие контролировать фазовый состав, размеры и морфологию зерен оксидов железа. Полученные экспериментальные данные (микроскопические изображения, рентгенофазовый анализ, измерения магнитных характеристик) свидетельствуют о высокой методологической проработке исследования. На основе результатов главы 2 сформулированы выносимые на защиту научные положения 1 и 2.

Глава 3 охватывает сравнительный анализ естественных и природоподобных структур с оксидами железа, полученных как из литогенных, так и биогенных источников. Анализ бактериальных магнитосом и образцов раковин фораминифер позволяет выявить существенные различия между синтетическими и естественными образцами, что имеет большое значение для понимания процессов биоминерализации и формирования магнитных свойств. На основе результатов главы 3 сформулировано выносимое на защиту научное положение 3.

Глава 4 посвящена комплексному изучению магнитных свойств исследуемых систем. Особое внимание уделено определению распределения ферритмагнитных зерен по размерам, которое впервые экспериментально подтверждено как логнормальное. Также успешно выявлены малые фракции суперпарамагнитных частиц, недоступные традиционным методам анализа, что является значительным научным вкладом. На основе результатов главы 4 сформулировано выносимое на защиту научное положение 4.

Глава 5 содержит исследования влияния внешних воздействий – постоянного магнитного поля, лазерного и гамма-излучения – на изменение микроструктуры и магнитных характеристик нанокомпозитов. Определение пороговых уровней воздействия, приводящих к фазовым превращениям, имеет важное практическое значение для разработки материалов с заданными

функциями. На основе результатов главы 2 сформулированы выносимые на защиту научные положения 5 и 6.

Глава 6 направлена на оценку биосовместимости полученных синтетических нанокомпозитов и исследование их потенциала в области магнитоуправляемой доставки лекарственных средств. Экспериментальные данные, полученные *in vivo* и *in vitro*, демонстрируют высокую биосовместимость, что открывает перспективы для применения разработанных материалов в медицине. На основе результатов главы 6 сформулировано выносимое на защиту научное положение 7.

К наиболее важным и интересным **оригинальным научным результатам** можно отнести следующие:

- 1) Создан единый подход к получению магнитных нанокомпозитов на основе модельной системы «оксиды железа – диоксид кремния», обеспечивающий возможность управления магнитными свойствами получаемых композитов за счет изменения фазового состава, размера и формы зерен оксидов железа.
- 2) Показано, что магнитные композиты на основе синтетических и литогенных структур с оксидами железа обеспечивают эффективное снижение мощности проходящего через них электромагнитного излучения (не менее чем в 10 раз при толщине 5 мм) в диапазоне частот 2...18 ГГц.
- 3) Использование разработанных теоретических моделей и экспериментальных данных для статических и динамических магнитных характеристик позволяет обнаружить суперпарамагнитную фракцию в исследуемых структурах при количествах ферромагнетика существенно меньших 1 % по объему, не выявляемых традиционными методами анализа, и определить распределение зерен по магнитным состояниям.
- 4) Наличие оболочки диоксида кремния обеспечивает агрегативную устойчивость магнитных наночастиц на основе модельной системы «оксиды железа – диоксид кремния» при их нахождении в кровотоке в случае

системного введения в организм животных, что позволяет осуществлять магнитоуправляемую доставку с использованием постоянных магнитов.

Научная новизна и достоверность

Научная новизна работы заключается в ряде существенных результатов, среди которых:

- впервые получены экспериментальные доказательства обнаружения малых количеств суперпарамагнитных частиц в сложных системах с оксидами железа;
- определены пороговые уровни воздействия магнитного поля и ЭМИ, способные инициировать фазовые превращения в нанокompозитах;
- разработан единый технологический подход к синтезу магнитных нанокompозитов с возможностью регулирования магнитных и электрических свойств за счет изменения фазового состава и морфологии оксидов железа.
- экспериментальное подтверждение возможности описания распределения ферромагнитных зерен в нанокompозитах единым логнормальным законом.

Достоверность полученных результатов подтверждается комплексным применением экспериментальных методик, тщательным анализом экспериментальных данных и сопоставлением результатов с данными литературы. Полученные результаты неоднократно апробированы на национальных и международных конференциях, а **практическая значимость** подтверждена полученными патентами.

Отмечу, что работа хорошо апробирована на конференциях, и ее результаты опубликованы в 44 печатных работах в ведущих журналах, включая 9, относящихся к первому квартилю по SJR и/или JCR

Практическая значимость

Примененные методики синтеза и моделирования магнитных нанокompозитов открывают новые перспективы в создании материалов для применения в медицине, информационных технологиях и защите от электромагнитного излучения. Результаты работы могут стать основой для

разработки новых функциональных материалов с заданными магнитными характеристиками и для создания магнитных жидкостей, пригодных для магнитоуправляемой доставки лекарственных средств.

Изложение материала логично и последовательно, демонстрируется высокая степень самостоятельности исследовательской работы и глубокое владение предметной областью. Представленный материал отвечает предъявляемым требованиям к диссертационным работам, а полученные результаты имеют высокую научную и практическую значимость. В целом, работа представляет собой завершённое и всестороннее исследование, содержащее значительный вклад в развитие теоретических и экспериментальных основ изучения магнитных нанокompозитов.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

По содержанию диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1. Так как основные результаты посвящены исследованию нанокompозитов, то хотелось бы понять какую роль играют квантовые размерные эффекты в данных структурах.
2. В работе присутствуют два термина коэрцитивная сила и коэрцитивная сила по остаточной намагниченности, что вызывает вопрос, так как коэрцитивная сила — это напряженность магнитного поля, в котором остаточная намагниченность обращается в ноль и это одна величина, а в работе таких величин две.
3. На ряде рисунков, например, 4.17, графики получены простым соединением точек и представляют ломаные линии, без обоснования данного факта с учетом погрешностей и без возможного сглаживания.
4. В работе приведены подробные списки аббревиатур, что безусловно удобно, но для единообразия их всех нужно было привести на русском языке, а так часть приведена на английском, хотя никаких проблем нет, например, суперпарамагнетик — это просто СП на русском, не ясно зачем это сделано буквами латинского алфавита.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования и носят характер, в большей степени, пожеланий. 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, профессор кафедры наноэлектроники Института перспективных технологий и индустриального программирования МИРЭА — Российского технологического университета Юрасов Алексей Николаевич

Контактные данные:

Телефон: +7(499)2156565 доб.20564, e-mail: yurasov@mirea.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 05.27.01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

Адрес места работы: 119454, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78, РТУ МИРЭА. Телефон: +7(499)2156565, e-mail:

Подпись А.Н. Юрасова удостоверяю

Первый проректор РТУ МИРЭА

И. Прокопов