

На правах рукописи

Зайцева Мария Павловна

**Флуоресцентные композиционные
наночастицы на основе оксидов железа
для магнитной дефектоскопии**

05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Москва – 2019

Работа выполнена на кафедре наноматериалов и нанотехнологии Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева.

Научный руководитель:

Юртов Евгений Васильевич член-корр. РАН, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой наноматериалов и нанотехнологии ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университета имени Д.И. Менделеева»

Официальные оппоненты:

Дементьева Ольга Вадимовна
доктор химических наук, доцент
Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Научное направление «Физикохимия нано- и супрамолекулярных систем», Лаборатория поверхностных явлений в полимерных системах

Насакина Елена Олеговна
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель заведующего лабораторией физико-химических основ металлургии цветных и редких металлов (№5) Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (НИУ МИЭТ)

Защита состоится «26» июня 2019 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.204.05 при РХТУ им. Д. И. Менделеева (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9) в конференц-зале (ауд. 443).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ им. Д.И. Менделеева и на официальном сайте университета <http://diss.muctr.ru/author/1098>

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.05

Яровая О.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Люминесцентные магнитные наноструктуры находят применение в различных направлениях науки и техники.

Современные промышленные производства активно используют металлические конструкционные материалы для создания инновационных приборов и комплектующих изделий. С целью предотвращения чрезвычайных ситуаций используются методы неразрушающего контроля для обнаружения дефектов материала, которые позволяют без отрыва от производственного процесса выявить проблемные участки и либо наблюдать их, либо устранять. Среди методов неразрушающего контроля можно выделить метод магнитопорошковой люминесцентной дефектоскопии, который позволяет с минимальными усилиями выявить дефекты на поверхности и под поверхностью тестируемого образца.

На сегодняшний день используются пенетранты (средства для дефектоскопии) для крупногабаритных изделий. Однако для выявления дефектов размером менее 1×20000 мкм на поверхности металлосодержащих изделий они не подходят, так как по литературным данным минимальный размер магнитных частиц составляет 2 мкм, что не позволяет им выявлять более мелкие дефекты. Использование люминесцентного магнитного порошка на основе наноразмерных магнитных частиц позволит выявлять дефекты малого размера на деталях. Поэтому получение флуоресцентных композиционных магнитных наночастиц является актуальным.

Цель работы

Целью работы является разработка методов получения флуоресцентных композиционных наночастиц оксидов железа различной дисперсности, в том числе с оболочкой SiO_2 , и исследование их магнитных и спектрально-оптических характеристик.

Научная новизна работы

Предложена модификация метода старения, состоящая в проведении синтеза без барботирования азотом с мягким перемешиванием, что

обеспечивает возможность получения наночастиц оксидов железа размером 20 нм.

Установлены закономерности получения оболочки SiO_2 на поверхности наночастиц оксидов железа (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) различной дисперсности. Установлены зависимости толщины оболочки от концентрации прекурсора оболочки SiO_2 и продолжительности механического перемешивания.

Предложен способ связывания наночастиц оксидов железа (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) с производным флуоресцеина (этиловый эфир–О–бромэтила флуоресцеина) через аминированную поверхность наночастиц как с тонкой оболочкой сорбированного 3-аминопропилтриметоксисилана, так и с оболочкой, полученной модифицированным методом Штобера, толщиной до 35 нм.

Предложен способ связывания наночастиц оксидов железа (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) с производным 4-метокси-1,8-нафталимида 1, содержащим хлорформильную группу в составе N-алкильного заместителя, заключающийся в образовании пептидной связи через аминированную поверхность наночастиц с тонкой оболочкой сорбированного 3-аминопропилтриметоксисилана.

Выявлен размерный эффект влияния наночастиц оксидов железа (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) на их люминесцентные свойства.

Практическая значимость

Получены образцы композиционных наночастиц оксидов железа (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), пригодные для тонкой дефектоскопии металлических деталей.

Разработана технология синтеза флуоресцентных композиционных наночастиц различной дисперсности (20-110 нм) на основе системы оксид железа (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) – SiO_2 с аминированной поверхностью, модифицированной этиловым эфиром–О–бромэтилафлуоресцеина или

производным 4-метокси-1,8-нафталимида 1, содержащим хлорформильную группу в составе N-алкильного заместителя.

Получены данные по интенсивности флуоресценции в ультрафиолетовом диапазоне в зависимости от дисперсности частиц ядро-оболочка.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Модификация метода старения (осаждения с последующим термостатированием) для получения наночастиц со средними размерами от 20 до 110 нм путем изменения таких параметров, как продолжительность термостатирования, концентрации исходных реагентов, характер перемешивания.

2. Параметры, позволяющие получать оболочки SiO_2 на поверхности наночастиц оксидов железа заданной толщины.

3. Методики связывания наночастиц оксидов железа (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) с этиловым эфиром–О–бромэтила флуоресцеина и производным 4-метокси-1,8-нафталимида 1, содержащим хлорформильную группу в составе N-алкильного заместителя.

4. Результаты исследования влияния размерного эффекта наночастиц оксидов железа (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) на их люминесцентные свойства.

Личный вклад автора

Все научные результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично или в соавторстве при его непосредственном участии. На всех этапах работы автор принимал активное участие в выборе методик исследования, проведении экспериментов, обработке и анализе полученных данных. Экспериментальная часть работы выполнялась либо самим автором, или при его активном участии. Обсуждение задач исследований, анализ результатов экспериментов, окончательная редакция статей, защищаемых научных положений и выводов к работе проводились совместно с научным руководителем.

Апробация работы

Результаты выполненных исследований докладывались и обсуждались на XXXII Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2018», Москва, Россия, 30 октября - 2 ноября 2018, XIII Международной научной конференции "Актуальные вопросы биологической физики и химии", Севастополь, Россия, 17-21 сентября 2018 г., II Международной Научно-практической школе-конференции 23-27 октября 2017 года г. Звенигород, Московская область, Международной конференции со школой и мастер-классами для молодых учёных "Химическая технология функциональных наноматериалов", Москва, Россия, 30 ноября - 1 декабря 2017, XIII Международном конгрессе молодых ученых по химии и химической технологии (МКХТ-2017), Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (РХТУ им. Д.И. Менделеева), Россия, 16-20 октября 2017, XII Международном конгрессе молодых ученых по химии и химической технологии МКХТ-2016, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Россия, 18-20 октября 2016, Всероссийской молодежной конференции с международным участием "Химическая технология функциональных наноматериалов", Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Россия, 26-27 ноября 2015, Международной научно-практической школе-конференции «Магнитные наноматериалы в биомедицине: получение, свойства, применение», г. Звенигород Московской области, Россия, 28-30 октября 2015.

Публикации

По материалам диссертации опубликованы 3 научные статьи, 13 тезисов докладов и получен 1 патент РФ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа изложена на 141 страницах, включая 12 таблиц и 91 рисунок. Библиография насчитывает 185 наименований.

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, методической и экспериментальной части, выводов, списка цитируемой литературы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе определена область исследования путем анализа литературных данных по теме диссертации. Проводится выбор объектов исследования: магнитных наночастиц и их модификаторов для создания флуоресцентных композиционных наночастиц на основе оксида железа.

Во второй главе представлены характеристики используемых материалов, приведены используемые методы анализа полученных экспериментальных образцов, определены методики синтеза.

В третьей главе представлены структурные характеристики полученных экспериментальных образцов, магнитные, термические и люминесцентные свойства. Выявлены зависимости свойств от размера наночастиц.

Получены наночастицы оксида железа (Fe_3O_4) методом старения с различной дисперсностью: от 20 до 110 нм. Предложена модификация метода старения, в процессе синтеза исключая стадию барботирования азотом с мягким перемешиванием, что обеспечивает возможность получения наночастиц оксидов железа размером 20 нм (рисунок 1).

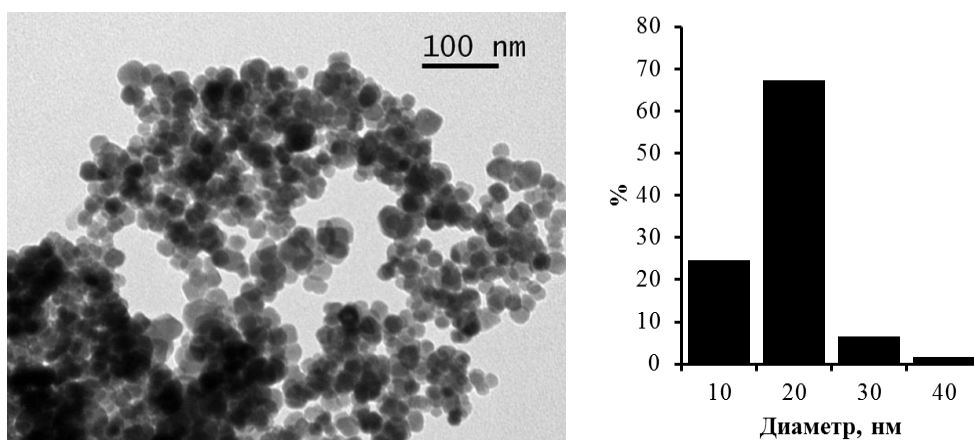


Рисунок 1 – ПЭМ изображение наночастиц оксида железа полученных без барботирования азотом с мягким перемешиванием при $T_{oc}=20^{\circ}\text{C}$

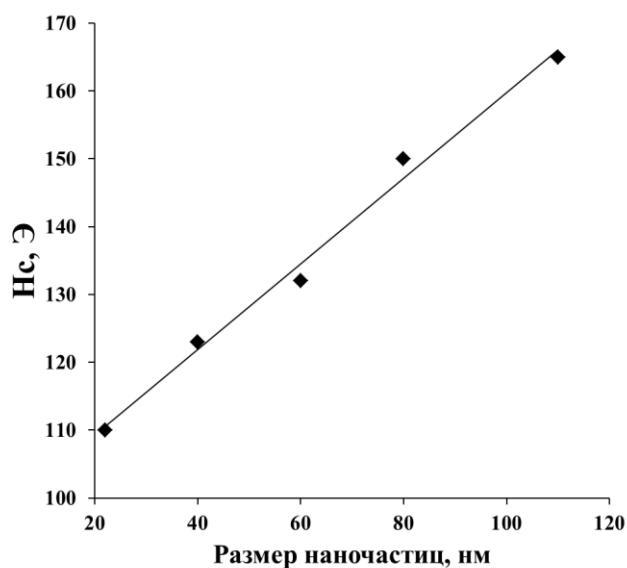


Рисунок 2 – Кривая зависимости коэрцитивной силы от размера наночастиц Fe₃O₄

Установлен размерный эффект влияния наночастиц оксидов железа на коэрцитивную силу нанопорошков, полученных в рамках одного метода осаждения с последующим термостатированием при варьировании условий синтеза. (рисунок 2).

Рентгеноструктурные исследования полученных нанопорошков показали, что все образцы представляют собой однофазный Fe₃O₄ со структурным

типом шпинели (рисунок 3). Следует отметить отсутствие в данных образцах фаз гётита (FeOOH), гематита (Fe₂O₃).

Предварительно модифицированные цитрат ионами наночастицы Fe₃O₄

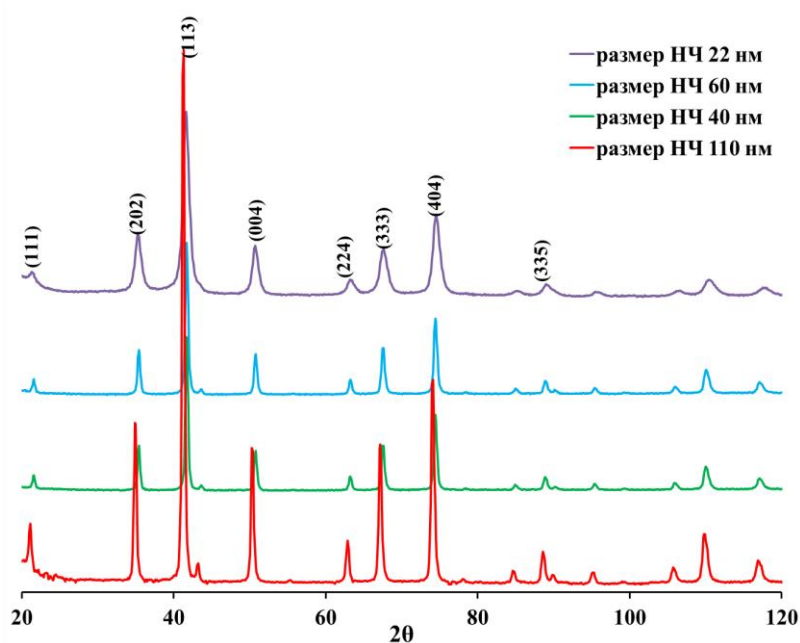


Рисунок 3 – Дифрактограммы нанопорошков Fe₃O₄, полученных при разных условиях

покрывались оболочкой диоксида кремния усовершенствованным методом Штобера, который заключался в изменении количества прекурсора от 0,027 до 0,081 М. Установлено, что при среднем размере ядра от 20 до 110 нм увеличение концентрации ТЭОС от 0,027 до 0,081 М ведет к увеличению толщины оболочки. Данное явление

объясняется тем фактом, что существенное ускорение поликонденсации в конце индукционного периода (момент, когда образовалась первичная оболочка) обусловлено резким увеличением межфазной поверхности, на которой продолжается процесс поликонденсации. Этот процесс существенно зависит от концентрации прекурсора оксида кремния. Однако при дальнейшем увеличении количества тетраэтоксисилана в системе наблюдалось уменьшение толщины оболочки: ядро размером 23 нм – уменьшение толщины оболочки до 20 нм, ядро размером 80 нм – уменьшение до 17 нм, ядро размером 100 нм – уменьшение до 10 нм. В концентрированных системах скорость образования первичной оболочки перестает лимитировать скорость гетерогенной реакции, а кинетика поликонденсации уже на ранней стадии искажается процессом переоконденсации через гомогенную фазу. Кинетические зависимости для таких систем характеризуются уменьшением содержания наиболее «активных» олигомеров при относительно небольшой и слабо изменяющейся концентрации мономера и постоянном росте содержания высокозаполимеризованных форм. При этом при одинаковой начальной концентрации прекурсора скорость гетерофазной поликонденсации будет зависеть не только от начальной концентрации прекурсора, но и от величины текущих пересыщений.

Проведено исследование влияния продолжительности перемешивания на образование оболочки на поверхности наночастиц Fe_3O_4 размером 100 нм. Синтез проведен при добавлении ТЭОС концентрацией 0,027 М. Время перемешивания изменялось от 2 до 24 часов. Показано, что через 2 часа перемешивания оболочки как таковой не образуется. Через 4 часа поверхность наночастицы будто размывается и образуется тонкая оболочка толщиной ~ 8 нм. Далее оболочка достраивается, постепенно увеличиваясь через 6 и 8 часов до 15 и 20 нм соответственно. Далее через 18 часов перемешивания толщина оставалась постоянной. Поскольку, как отмечалось ранее, средняя толщина оболочки после перемешивания в течение 24 часов

составляла 22 нм, а среднее отклонение по выборке составляло ± 2 нм, можно сказать, что толщина оболочки после 8 часов перемешивания оставалась неизменной.

Анализ соответствующих гистерезисных характеристик нанопорошков $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ показывает, что для них характерно, повышение коэрцитивной

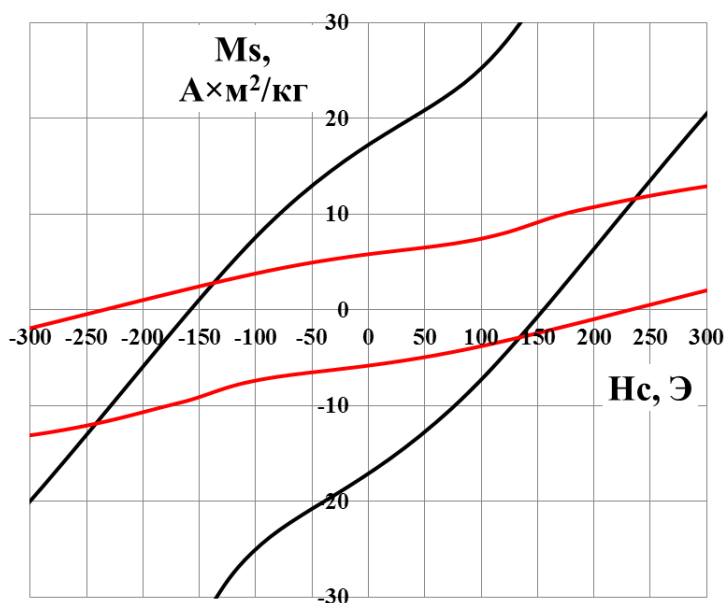


Рисунок 4 - Полевые зависимости намагниченности насыщения для нанопорошков Fe_3O_4 и $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$

силы по сравнению с непокрытыми порошками Fe_3O_4 (H_c увеличивается от 130 ... 150 Э до 150 ... 240 Э), что подтверждает предположение об усилении взаимодействий на границе «магнитное ядро» (нестехиометрический магнетит) – «немагнитная оболочка» (SiO_2) (рисунок 4).

Анализ ИК-спектров показал наличие связей Fe-O (573, 584 и 577 см^{-1}) у всех

образцов порошков наночастиц. Пик 855 см^{-1} показывает наличие C-C связи небольшой интенсивности за счет сильного O-H взаимодействия. Валентные колебания O-H (3396 см^{-1}) и малоинтенсивные пики C-O и C=O (1109 и 1657 см^{-1} соответственно) подтверждает модификацию поверхности наночастицы. На спектре наночастиц, покрытых оболочкой SiO_2 появились пики сильных валентных колебаний Si-O-Si (1095 см^{-1}) и Si-C (463 и 806 см^{-1}) и C-C (953 см^{-1}), что доказывает образование оболочки оксида кремния на поверхности наночастицы. Показателем образующихся аминированных нанопорошков оксидов железа по сравнению с наноструктурами $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ является появление двух пиков (2854 и 2929 см^{-1}), которые соответствуют валентным асимметричным колебаниям $-\text{CH}_2-$ связи. Раздвоенный пик в области от 3000 до 3500 см^{-1} говорит об образовании связи $-\text{C}-\text{NH}_2$ (первичного амина). В

остальном же характер спектра наночастиц с аминированной поверхностью и нанокompозитов $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ совпадают, что говорит об образовании на поверхности наночастиц тонкого слоя оболочки SiO_2 и дает нам возможность говорить об образовании нанокompозита $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$.

Поведена визуальная проверка сшивки флуоресцентных красителей этилового эфира–О–бромэтилафлуоресцеина, флуоресцеин изотиоционата с поверхностью наночастиц Fe_3O_4 и структур $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$. На рисунке 5 представлена микрофотография образца нанопорошка $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ –NH–этиловый эфир–О– [этил] флуоресцеина.

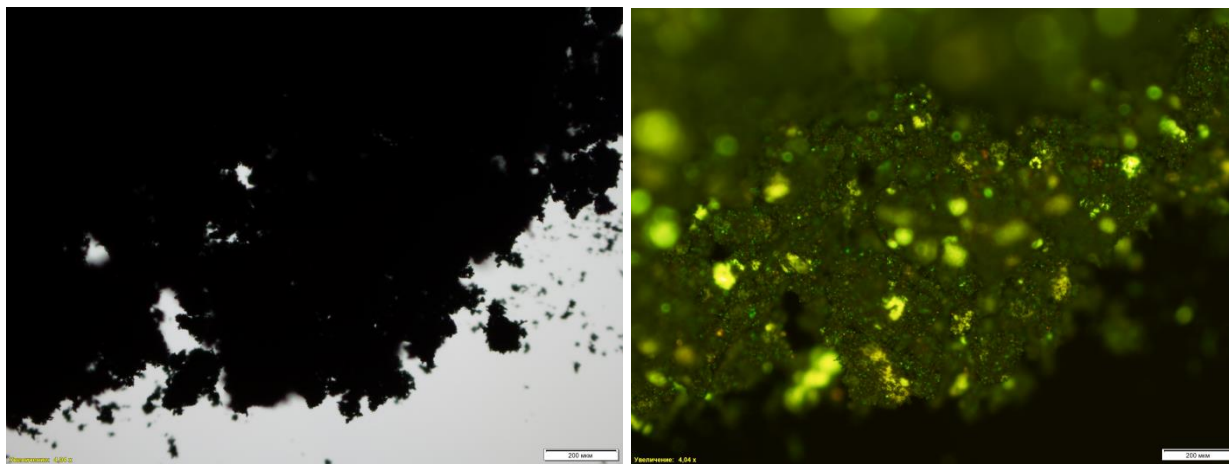


Рисунок 5 – Микрофотографии образца нанопорошка $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ –NH–этиловый эфир–О– [этил]флуоресцеина

Были проведены исследования влияния размера ядра композиционных наночастиц $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ на интенсивность люминесценции этиловый эфир–О–[этил]флуоресцеина.

Установлено, что с увеличением размера ядра НС интенсивность увеличивается приблизительно в 2 раза. При этом пик интенсивностей для всех образцов находится в области 550 нм.

Для проверки необходимости оболочки SiO_2 в качестве связующей прослойки между НЧ и люминофором были исследованы наночастицы оксидов железа различного размера. На рисунке 6 представлен спектр люминесценции наночастиц Fe_3O_4 с размером ядра 10 нм.

Установлено, что при увеличении размера наночастиц от 10 до 110 нм интенсивность увеличивается на 20 %, при этом у флуоресцентных магнитных наночастиц с размером ядра 100 нм наблюдается два пика интенсивности и смещение длин волн испускания от 550 нм до 430 и 530 нм. Исходя из полученных данных выявлено, что оболочка SiO_2 отрицательно влияет на проявляемые люминесцентные свойства композиционных НЧ в связи с тем, что интенсивность НЧ без оболочки выше и наблюдается сдвиг в УФ область.

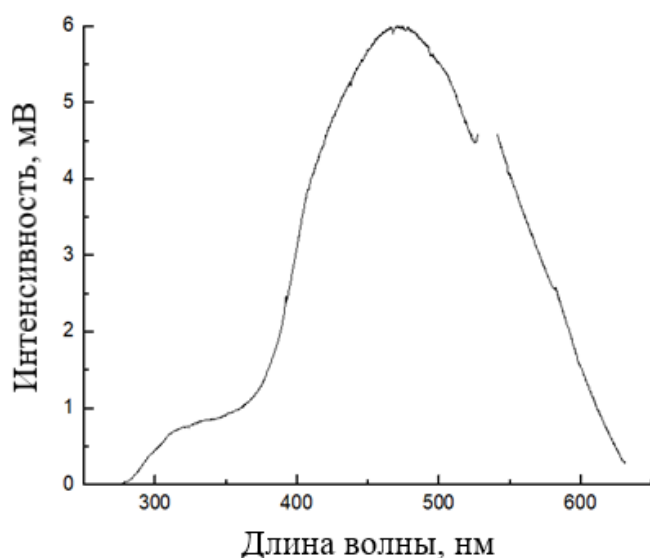


Рисунок 6 – Спектр люминесценции НС $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{SiO}_2$, связанных с производным имидазола

проявляется при $\lambda=460$ нм.

Получены образцы композиционных наночастиц оксидов железа (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), пригодные для тонкой дефектоскопии металлических деталей. Установлено выявление дефекта на поверхности эталонного образца, что подтверждает возможность применения магнитных композиционных наночастиц в качестве основы для пенетранта.

ВЫВОДЫ

1. Получены наночастицы оксида железа (Fe_3O_4) методом старения с различной дисперсностью: от 20 до 110 нм. Установлено, что:

Установлено, что композиционные наночастицы $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{SiO}_2$ связываются с производным 4-метокси-1,8-нафталимида 1, содержащим хлорформильную группу в составе N-алкильного заместителя. На рисунке 6 представлен спектр люминесценции наночастиц Fe_3O_4 с размером ядра 100 нм. Максимум люминесценции

— при увеличении концентрации исходных реагентов размер наночастиц увеличивается от 80 до 110 нм;

— при увеличении температуры термостатирования от 40 до 90 °С и снижении продолжительности синтеза до 4 часов размер наночастиц уменьшается до 40 нм;

— осаждение на воздухе (без барботирования) приводит к уменьшению размера до 20 нм.

2. Установлен размерный эффект влияния наночастиц оксидов железа на коэрцитивную силу полученных нанопорошков.

3. Установлены закономерности получения оболочки SiO_2 с контролируемой толщиной на поверхности наночастиц оксида железа от 9 до 35 нм при изменении количества прекурсора оболочки SiO_2 от 0.6 до 1.8 мл. Обнаружено отсутствие значительного влияния размера наночастиц на толщину оболочки при прочих равных условиях. Показано увеличение коэрцитивной силы при создании оболочки на поверхности наночастиц оксида железа от 150 Э для непокрытых до 240 Э для композиционных наночастиц.

4. Установлена электростатическая сорбция флуоресцеина на поверхности наночастиц оксида железа, существующая при $\text{pH} \geq 9$.

5. Впервые предложен способ связывания наночастиц оксида железа различной дисперсности спроизводным флуоресцеина (этиловый эфир—О—бромэтилафлуоресцеина) посредством предварительного аминирования поверхности наночастиц оксида железа различной дисперсности (от 10 до 110 нм). Впервые разработан метод синтеза наночастиц оксидов железа с производным имидазола (6-(6-метокси-1,3-диоксо-1Н-бензо[де]изохино-лин-2(3Н)-ил)-N-(3-(триметоксисилил)пропил)гексанамином), который основан на сшивке через 3-аминопропилтриметоксисилан.

6. Установлен размерный эффект влияния на люминесцентные свойства наночастиц оксида железа:

— при увеличении размера ядра композиционных наночастиц $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ от 40 до 110 нм интенсивность увеличивается в 2 раза;

— при увеличении размера ядра НК от 10 до 110 нм интенсивность увеличивается на 20 %, при этом у флуоресцентных магнитных наночастиц с размером ядра 100 нм наблюдается два пика интенсивности и смещение длин волн испускания от 550 нм до 430 и 530 нм;

— при сравнении порошков нанокомпозитов $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ и Fe_3O_4 с тонкой оболочкой SiO_2 установлено увеличение интенсивности люминесценции, появление двух пиков интенсивности и смещения максимума пика люминесценции от 550 до 450 нм;

— при сравнении НК, связанных с производным флуоресцеина, НЧ, связанные с производным 4-метокси-1,8-нафталимида 1, содержащим хлорформильную группу в составе N-алкильного заместителя имеют интенсивность люминесценции в 6 раз выше. Максимум люминесценции проявляется при $\lambda=460$ нм.

7. Проведены предварительные испытания композиционных наночастиц. Установлено выявление дефектов на поверхности эталонного образца класса А, что говорит о применимости полученных суспензий для магнитной дефектоскопии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражается благодарность к.ф.-м.н., заведующему кафедрой физического материаловедения Савченко А.Г. и инженеру-исследователю кафедры физического материаловедения Гребенникову И.С. за помощь в проведении магнитных исследований, д.х.н., профессору, заведующей лабораторией фотоактивных супрамолекулярных систем Федоровой О.А и к.х.н., старшему научному сотруднику лаборатории фотоактивных супрамолекулярных систем Панченко П.А. за помощь в подборе люминесцентных красителей.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. **M.P. Zaytseva**, A.G. Muradova, A.I. Sharapaev, E.V. Yurtov, I.S. Grebennikov, A.G. Savchenko. $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ core shell nanostructures: Preparation and characterization // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2018. Vol. 63, № 12. P. 1684–1688. (Web of Science)
2. A.G. Muradova, **M.P. Zaytseva**, A.I. Sharapaev, E.V. Yurtov. Influence of temperature and synthesis time on shape and size distribution of Fe_3O_4 nanoparticles obtained by ageing method // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2016. Vol. 509. P. 229–234. (Web of Science)
3. И.С. Гребенников, А.Г. Савченко, **М.П. Зайцева**, А.Г. Мурадова, Е.В. Юртов. Структура и магнитные свойства нанопорошков оксидов железа и гибридных нанопорошков типа “ядро–оболочка” на их основе // Известия РАН, серия физическая. 2018. Т. 82, № 9. С. 167–178. (Scopus)

Другие публикации

1. Кузнецова С.А., **Зайцева М.П.**, Мурадова А.Г., Юртов Е.В. Получение наноструктур $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ с контролируемой оболочкой SiO_2 на поверхности Fe_3O_4 и исследование их магнитных свойств (Устный) // XXXII Международная конференция молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2018», Москва, Россия, 30 октября - 2 ноября 2018, - С. 24-26
2. Гребенников И.С., Никитин А.А., **Зайцева М.П.**, Савченко А.Г., Абакумов М.А., Юртов Е.В. Структура и магнитные свойства гибридных нанопорошков типа «ядро-оболочка» на основе магнетита // XIII Международная научная конференция "Актуальные вопросы биологической физики и химии", Севастополь, Россия, 17-21 сентября 2018 г – С. 71-72.
3. **М. П. Зайцева**, Н. Е. Сычев, А. Г. Мурадова, Е. В. Юртов. Модификация поверхности наночастиц оксидов железа флуоресцеином // II Международная Научно-практическая школа- конференция 23-27 октября

2017 года г. Звенигород, Московская область СБОРНИК ТЕЗИСОВ
Магнитные наноматериалы в биомедицине: получение, свойства,
применение. — МИСиС Москва, 2017. — С. 99–100.

4. М.Ю. Купцова, **М. П. Зайцева**, А. Г. Мурадова, С.Ю. Левчишин
Е.В. Юртов. Получение магнитной жидкости и изучение процессов агрегации
и седиментации частиц дисперсной фазы в различных средах // II
Международная Научно-практическая школа- конференция 23-27 октября
2017 года г.Звенигород, Московская область СБОРНИК ТЕЗИСОВ
Магнитные наноматериалы в биомедицине: получение, свойства,
применение. — МИСиС Москва, 2017. — С. 126–128.

5. Гребенников И.С., **Зайцева М.П.**, Мурадова А.Г., Савченко А.Г.,
Юртов Е.В. Влияние оболочки диоксида кремния на структуру и магнитные
свойства гибридных нанопорошков на основе оксидов железа //
Международная конференция со школой и мастер-классами для молодых
учёных "Химическая технология функциональных наноматериалов", Москва,
Россия, 30 ноября - 1 декабря 2017 – С. 88-89.

6. **Зайцева М.П.**, Купцова М.Ю., Мурадова А.Г., Юртов Е.В.
Исследование реологических свойств магнитных жидкостей на основе
минеральных масел // Международная конференция со школой и мастер-
классами для молодых учёных "Химическая технология функциональных
наноматериалов", Москва, Россия, 30 ноября - 1 декабря 2017 – С. 133-135.

7. **Зайцева М.П.**, Мурадова А.Г., Юртов Е.В. Получение
модифицированных наночастиц оксида железа Fe_3O_4 // Международная
конференция со школой и мастер-классами для молодых учёных
"Химическая технология функциональных наноматериалов", Москва, Россия,
30 ноября - 1 декабря 2017 – С. 96-98.

8. Гребенников И.С., Савченко А.Г., **Зайцева М.П.**, Мурадова А.Г.
Юртов Е.В., Фазовый состав и структура покрытых кремнеземом
нанопорошков оксидов железа типа «ядро-оболочка» // II Международная
Научно-практическая школа-конференция 23-27 октября 2017 года г.

Звенигород, Московская область СБОРНИК ТЕЗИСОВ Магнитные наноматериалы в биомедицине: получение, свойства, применение. — МИСиС Москва, 2017. – С. 46-47

9. **Зайцева М.П.**, Мурадова А.Г., Юртов Е.В. Исследование влияния количества ТЭОС на формирование структуры $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ // XIII Международный конгресс молодых ученых по химии и химической технологии (МКХТ-2017), Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (РХТУ им. Д.И. Менделеева), Россия, 16-20 октября 2017 – С. 8-9.

10. Купцова М.Ю., Полякова А.С., **Зайцева М.П.**, Шарапаев А.И., Мурадова А.Г., Юртов Е.В. Исследование устойчивости к агрегации и седиментации магнитных жидкостей на основе технических масел // XIII Международный конгресс молодых ученых по химии и химической технологии (МКХТ-2017), Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (РХТУ им. Д.И. Менделеева), Россия, 16-20 октября 2017 – С. 42-44.

11. **Зайцева М.П.**, Мурадова А.Г., Юртов Е.В., Савченко А.Г., Сидельников Н.К., Гребенников И.С. Влияние условий синтеза на формирование структуры $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ типа ядро-оболочка // XII Международный конгресс молодых ученых по химии и химической технологии МКХТ-2016, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Россия, 18-20 октября 2016 – С. 20-21.

12. Мурадова А.Г., Юртов Е.В., Савченко А.Г., **Зайцева М.П.** Модифицирование метода старения для получения наночастиц Fe_3O_4 заданного размера в диапазоне от 40 до 100 нм // Всероссийская молодежная конференция с международным участием "Химическая технология функциональных наноматериалов", Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Россия, 26-27 ноября 2015 – С. 17-18

13. Мурадова А.Г., **Зайцева М.П.**, Юртов Е.В., Савченко А.Г. Влияние температуры и продолжительности синтеза на размер наночастиц

Fe_3O_4 // Международная научно-практическая школа-конференция «Магнитные наноматериалы в биомедицине: получение, свойства, применение», г. Звенигород Московской области, Россия, 28-30 октября 2015 – С. 32-33.

Авторские свидетельства и патенты

1. Патент РФ 2620432, Способ получения магнетита / **Зайцева М.П.**, Мурадова А.Г., Юртов Е.В., заявл. 05.06.2016; опубл. 25.05.2017

Заказ №	Объем	п.л.	Тираж 100 экз.
Издательский центр РХТУ им. Д.И. Менделеева			