

Заключение диссертационного совета МГУ.014.8
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
Решение диссертационного совета от «29» ноября 2024 г. № 166

О присуждении Анохину Евгению Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Синтез и исследование композитных наночастиц на основе гексаферрита стронция» по специальности 1.4.15. Химия твёрдого тела принята к защите диссертационным советом «27» сентября 2024 г., протокол № 160.

Соискатель Анохин Евгений Олегович, 1995 года рождения, в 2022 году окончил очную аспирантуру факультета наук о материалах федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» по направлению «Химические науки».

Соискатель работает в Специализированном учебно-научном центре (факультет) – школе-интернате имени А.Н. Колмогорова Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в должности ассистента кафедры химии.

Диссертация выполнена на кафедре неорганической химии химического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Научные руководители:

Трусов Лев Артемович — кандидат химических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», младший научный сотрудник кафедры неорганической химии химического факультета;

Казин Павел Евгеньевич — доктор химических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», профессор кафедры неорганической химии химического факультета.

Официальные оппоненты:

Пресняков Игорь Александрович — доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», химический факультет, кафедра радиохимии, ведущий научный сотрудник;

Кецко Валерий Александрович — доктор химических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, центр коллективного пользования физическими методами исследования веществ и материалов, главный научный сотрудник;

Соколов Петр Сергеевич — кандидат химических наук, Курчатовский комплекс химических исследований (ИРЕА) НИЦ «Курчатовский институт», старший научный сотрудник;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их высокой квалификацией и опытом научной работы в области химии твёрдого тела, что подтверждается наличием публикаций в высокорейтинговых журналах. Пресняков Игорь Александрович, Кецко Валерий Александрович и Соколов Петр Сергеевич обладают высокими компетенциями в области химии твердого тела, неорганической химии, включая синтетические, структурные аспекты и исследования магнитных свойств. Значительная часть публикаций официальных оппонентов близка по направленности к теме диссертационной работы и посвящена получению новых неорганических соединений, функциональных материалов, изучению кристаллических структур,

исследованию магнитных свойств и анализу взаимосвязи «состав–структура–свойства» неорганических материалов.

Соискатель имеет 24 научные работы, в том числе 6 по теме диссертации, из которых 6 опубликованы в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень Минобрнауки РФ, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.15. Химия твердого тела. Список публикаций по теме диссертационной работы:

1. **Anokhin E.**, Trusov L., Kozlov D., Chumakov R., Sleptsova A., Uvarov O., Kozlov M., Petukhov D., Eliseev A., Kazin P. Silica coated hard-magnetic strontium hexaferrite nanoparticles // Advanced Powder Technology – 2019. – Т. 30 – № 9 – С. 1976–1984. JIF = 4,20 (WoS). Объем 0,56 п.л. Личный вклад автора 50%.

2. Cao W., Yin S., Plank M., Chumakov A., Opel M., Chen W., Kreuzer L., Heger J., Gallei M., Brett C., Schwartzkopf M., Eliseev A., **Anokhin E.**, Trusov L., Roth S., Müller-Buschbaum P. Spray-deposited anisotropic ferromagnetic hybrid polymer films of PS-*b*-PMMA and strontium hexaferrite magnetic nanoplatelets // ACS applied materials & interfaces – 2021. – Т. 13 – № 1 – С. 1592–1602. JIF = 8,50 (WoS). Объем 0,69 п.л. Личный вклад автора 10%.

3. Trusov L., Sleptsova A., Duan J., Gorbachev E., Kozlyakova E., **Anokhin E.**, Eliseev A., Karpov M., Vasiliev A., Brylev O., Kazin P. Glass-ceramic synthesis of Cr-substituted strontium hexaferrite nanoparticles with enhanced coercivity // Nanomaterials – 2021. – Т. 11 – № 4 – С. 924. JIF = 4,4 (WoS). Объем 0,63 п.л. Личный вклад автора 20%.

4. **Anokhin E.**, Deyankov D., Xia Z., Kozlyakova E., Lebedev V., Morozov A., Kozlov D., Nygaard R., Petukhov D., Trusov L. Synthesis of sandwiched composite nanomagnets by epitaxial growth of Fe₃O₄ layers on SrFe₁₀Cr₂O₁₉ nanoplates in high-boiling organic solvent // Nanomaterials – 2023. –

Т. 13 – № 1 – С. 167. JIF = 4,40 (WoS). Объем 1,00 п.л. Личный вклад автора 50%.

5. Khabirova S., Aleshin G., **Anokhin E.**, Shchukina A., Zubenko A., Fedorova O., Averin A., Trusov L., Kalmykov S. Novel candidate theranostic radiopharmaceutical based on strontium hexaferrite nanoparticles conjugated with azacrown ligand // Dalton Transactions – 2023. – Т. 52 – № 6 – С. 1731–1741. JIF = 3,50 (WoS). Объем 0,69 п.л. Личный вклад автора 15%.

6. Chen J., Duan J., **Anokhin E.**, Xia Z., Svetogorov R., Semina A., Nygaard R., Eliseev A., Gorbachev E., Trusov L. Hard magnetic colloidal nanoplates with tunable size for magneto-optical applications // Journal of Materials Chemistry C – 2024. – Т. 12 – № 37 – С. 14865–14875. JIF = 5,700 (WoS). Объем 0,69 п.л. Личный вклад автора 30%.

На автореферат диссертации поступило 7 дополнительных отзывов от ведущих российских ученых, в том числе членов Российской академии наук, все отзывы положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований:

1. Впервые установлены условия формирования наночастиц гексаферрита стронция с варьируемой морфологией из боратных стекол.

2. Впервые получены долговременно стабильные в нейтральной и щелочной средах коллоидные растворы магнитотвердых наночастиц гексаферрита стронция, модифицированных слоями диоксида кремния контролируемой толщины.

3. Впервые показана магнитомеханическая деструкция клеточных культур с помощью наночастиц гексаферрита стронция, модифицированных тонким слоем диоксида кремния. Показана перспективность применения подобных частиц в качестве платформы для создания тераностических радиофармацевтических препаратов.

4. Впервые получены и изучены сэндвичевые композитные эпитаксиальные наноструктуры с контролируемым соотношением фаз на основе пластинчатых наночастиц гексаферрита стронция, покрытых слоями шпинельных ферритов (CoFe_2O_4 , Fe_3O_4). Показано, что две магнитные фазы в композитных наночастицах обменно связаны между собой.

Практическая значимость работы Анохина Евгения Олеговича заключается в предложенных условиях синтеза, позволяющих получать наночастицы гексаферрита стронция различной формы, что открывает возможности для разнообразных областей применения: анизотропные частицы перспективны для магнитооптических и магнитомеханических применений, а менее анизотропные востребованы в создании лент для магнитной записи. Покрытие частиц тонкими слоями диоксида кремния расширяет границы применимости как коллоидов, так и самих коллоидных частиц. Покрытые коллоидные частицы устойчивы к необратимой агрегации, агрессивным средам и могут быть использованы в биомедицине. Показана на практике перспективность использования наночастиц гексаферрита, покрытых диоксидом кремния, для магнитомеханической деструкции раковых клеток и как платформы для создания тераностических радиофармацевтических препаратов. Предложенная методика синтеза сэндвичевых композитов универсальна и может быть расширена на другие типы шпинельных материалов и позволяет комбинировать магнитные свойства ядер с оптическими, каталитическими, сегнетоэлектрическими и другими свойствами внешних слоев.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. **Положения, выносимые на защиту**, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Условия получения наночастиц гексаферрита стронция с различными морфологией и магнитными свойствами с помощью метода кристаллизации боратных стекол. Показано, что форма частиц изменяется от

высокоанизотропных пластинок до практически изотропных зерен. Установлены условия образования коллоидов на основе полученных наночастиц.

2. Условия щелочного гидролиза тетраэтоксисилана для покрытия коллоидных частиц гексаферрита стронция диоксидом кремния. Определены оптимальные условия гидролиза, коллоидная стабильность, магнитные свойства и морфология модифицированных частиц.

3. Оригинальная методика модификации поверхности коллоидных частиц гексаферрита стронция тонкими слоями диоксида кремния при помощи гидролиза силикат-ионов. Модификация поверхности позволила расширить диапазон стабильности коллоидов в нейтральную и щелочную области pH. Модифицированные частицы апробированы в магнитомеханической терапии и в качестве платформы для создания тераностических радиофармацевтических препаратов.

4. Методика получения сэндвичевых композитных наноструктур на основе пластинчатых наночастиц гексаферрита стронция, покрытых слоями шпинельных ферритов (CoFe_2O_4 , Fe_3O_4), путем высокотемпературного разложения металлоорганических прекурсоров в высококипящих органических растворителях в инертной атмосфере. Показано, что внешние шпинельные слои растут эпитаксиально, при этом магнитные фазы в композите демонстрируют эффект обменной связи.

На заседании 29 ноября 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Анохину Евгению Олеговичу ученую степень кандидата химических наук по специальности 1.4.15. Химия твердого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 10 докторов наук по специальности 1.4.15. Химия твердого тела из 29 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
Диссертационного совета
д.х.н., чл.-корр. РАН

Шевельков А.В.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
к.х.н.

Хасанова Н.Р.

«29» ноября 2024 г.