


УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор
по научной работе

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,

доктор технических наук, доцент

 А.В. Коржов

«31»  2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Структура и физико-химические свойства монозамещенного титаном гексаферрита бария, полученного методом твердофазного синтеза» на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4 «Физическая химия» выполнена на кафедре «Материаловедение и физико-химия материалов» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации с 2019 г. по настоящее время соискатель Стариков Андрей Юрьевич проходит обучение в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 22.06.01 «Технология материалов», с 2019 г. по 2022 г. работал в должности

инженера Управления научной и инновационной деятельности в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». В настоящее время работает в должности преподавателя кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов» в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

В 2017 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 23.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» с присуждением квалификации «бакалавр». В 2019 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению 22.04.02 «Металлургия» с присуждением квалификации «магистр».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2023 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор химических наук, доцент, профессор РАН, заведующий кафедрой «Материаловедение и физико-химия материалов» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», директор научно-исследовательского института «Перспективные материалы и ресурсосберегающие технологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский

государственный университет (национальный исследовательский университет)» Винник Денис Александрович.

Тема диссертации утверждена советом факультета «Материаловедение и металлургические технологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» от 29.10.2019, протокол № 2.

По результатам рассмотрения диссертации «Структура и физико-химические свойства монозамещенного титаном гексаферрита бария, полученного методом твердофазного синтеза» принято следующее **заключение:**

Актуальность темы исследования

Гексаферрит бария М-типа (BaM) является перспективным материалом для исследования из-за уникальных магнитных, диэлектрических и микроволновых свойств. Такие материалы широко применяются в различных технологических областях, таких как магнитные записывающие устройства, катушки индуктивности, фильтры и антенны для микроволновых устройств. Усиление интереса к этому типу материалов обусловлено не только их многофункциональностью и универсальностью, но и широкими возможностями синтеза и модификации. Исследователи по всему миру проводят эксперименты с множеством различных составов, различными методами получения и обработки гексаферрита бария М-типа с целью улучшения его свойств и эффективности для различных применений.

Актуальность исследований связанных с изучением свойств гексаферрита бария М-типа продиктована потребностью в создании новых и улучшенных материалов с определенными магнито-диэлектрическими свойствами для разнообразных технологических применений.

Практическая значимость

Результаты исследования замещенного гексаферрита бария, опубликованные соискателем, будут способствовать улучшению понимания механизмов, лежащих в основе магнитных свойств материала. Это, в свою очередь, может повлиять на развитие и усовершенствование материалов и компонентов электроники, открывая новые возможности для применения магнитных материалов в различных областях техники и промышленности.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- 1) для системы $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, опираясь на литературные данные и результаты собственных экспериментов, сформирована термодинамическая модель фазовых равновесий и получены результаты моделирования зависимости фазового состава от температуры;
- 2) отработаны комплексы физико-химических параметров, обеспечивающие получение методом твердофазного синтеза образцов замещенного титаном гексаферрита бария $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$, где x от 0 до 2,0 с шагом 0,25;
- 3) впервые для созданных концентрационной линейки твердых растворов $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ установлены зависимости параметров решетки от содержания замещающего элемента – титана;
- 4) впервые для созданных концентрационной линейки твердых растворов $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ установлены зависимости магнитных свойств (намагниченность насыщения, температура Кюри) от содержания замещающего элемента – титана.

Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации состоит в успешном решении проблемы определения закономерностей влияния химического состава твердых растворов со структурой магнетопломбита (гексаферрита бария, в исходной матрице которого атомы железа частично замещены атомами титана) на кристаллическую структуру и свойства. Соискателем построены модели зависимости фазового состава системы $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ от температуры, отработаны комплексы физико-химических параметров, обеспечивающие

получение методом твердофазного синтеза образцов гексаферрита бария состава $BaFe_{12-x}Ti_xO_{19}$, где x принимает значение от 0 до 2,0 с шагом 0,25. В рамках решения задач исследования соискателем выполнены работы по изучению морфологии, определению химического и фазового составов, расчёту параметров решетки на основе полученных данных рентгенофазового анализа, определению температур фазовых переходов, исследованию магнитных свойств; на основе измеренных изменений структуры и свойств установлению закономерностей их изменения в зависимости от состава. Результаты, вошедшие в диссертацию, получены автором лично.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Для обеспечения достоверности результатов применены современные методы и техники анализа структуры, состава и свойств исследуемых образцов, а также специализированное программное обеспечение. Полученные результаты работы соответствуют актуальным теоретическим представлениям и согласуются с имеющимися в литературных источниках данными других исследователей.

Ценность научных работ соискателя ученой степени

Основные результаты диссертационного исследования изложены в 13 печатных работах, из них 7 публикаций в изданиях, индексируемых наукометрическими базами данных Web of Science и Scopus, 1 в Scopus, а также результаты данного исследования доложены и представлены на 3 международных конференциях. Кроме того, соискателем был получен 1 патент на изобретение.

Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, индексируемых в базах данных *Scopus* и/или *Web of Science*:

1. Klygach, D.S. Measurement of permittivity and permeability of barium hexaferrite / D.S. Klygach, M.G. Vakhitov, D.A. Vinnik, A.V. Bezborodov, S.A. Gudkova, V.E. Zhivulin, D.A. Zherebtsov, C.P. SakthiDharan, S.V. Trukhanov, A.V. Trukhanov, **A.Yu. Starikov** // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2018. – V. 465. – P. 290-294. (5 c./1 c.) (Scopus/WoS)
2. Trukhanov, A.V. Influence of the charge ordering and quantum effects in heterovalent substituted hexaferrites on their microwave characteristics / A.V. Trukhanov, M.A. Almessiere, A. Baykal, S.V. Trukhanov, Y. Slimani, D.A. Vinnik, V.E. Zhivulin, **A.Y. Starikov**, D.S. Klygach, M.G. Vakhitov, T.I. Zubar, D.I. Tishkevich, E.L. Trukhanova, M. Zdorovets // Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – V. 788. – P. 1193-1202. (10 c./1 c.) (Scopus/WoS)
3. Zezyulina, P.A. Study of the static and microwave magnetic properties of nanostructured $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ / P.A. Zezyulina, D.A. Petrov, K.N. Rozanov, D.A. Vinnik, S.S. Maklakov, V.E. Zhivulin, **A.Y. Starikov**, D.P. Sherstyuk, S. Shannigrahi // Coatings. – 2020. – V. 10, № 8. – Article № 0789. – 10 p. (10 c./1 c.) (Scopus/WoS)
4. Vinnik, D.A. Influence of titanium substitution on structure, magnetic and electric properties of barium hexaferrites $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ / D.A. Vinnik, V.E. Zhivulin, **A.Yu. Starikov**, S.A. Gudkova, E.A. Trofimov, A.V. Trukhanov, S.V. Trukhanov, V.A. Turchenko, V.V. Matveev, E. Lahderanta, E. Fadeev, T.I. Zubar, M.V. Zdorovets, A.L. Kozlovsky // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2020. – V. 498. – Article № 166117. – 9 p. (9 c./2 c.) (Scopus/WoS)
5. Vinnik, D.A. Structure and magnetodielectric properties of titanium substituted barium hexaferrites / D.A. Vinnik, **A.Y. Starikov**, V.E. Zhivulin, K.A. Astapovich, V.A. Turchenko, T.I. Zubar, S.V. Trukhanov, J. Kohout, T. Kmjec, O. Yakovenko, L. Matzui, A.S.B. Sombra, D. Zhou, R.B. Jotania, C. Singh, A.V. Trukhanov // Ceramics International. – 2021. – V. 47, № 12. – P. 17293-17306. (14 c./2 c.) (Scopus/WoS)
6. Trukhanov, S.V. Exploration of crystal structure, magnetic and dielectric properties of titanium-barium hexaferrites / S.V. Trukhanov, T.I. Zubar, V.A.

Turchenko, A.V. Trukhanov, T. Kmjec, J. Kohout, L. Matzui, O. Yakovenko, D.A. Vinnik, **A.Y. Starikov**, V.E. Zhivulin, A.S.B. Sombra, D. Zhou, R.B. Jotania, C. Singh, A.V. Trukhanov // *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*. – 2021, – V. 272. – Article № 115345. – 11 p. (11 c./2 c.) (Scopus)

7. Vinnik, D.A. Effect of titanium substitution and temperature variation on structure and magnetic state of barium hexaferrites / D.A. Vinnik, V.E. Zhivulin, D.A. Uchaev, S.A. Gudkova, D.E. Zhivulin, **A.Y. Starikov**, S.V. Trukhanov, V.A. Turchenko, T.I. Zubar, T.P. Gavrilova, R.M. Eremina, E. Fadeev, E. Lahderanta, A.S.B. Sombra, D. Zhou, R.B. Jotania, C. Singh, A.V. Trukhanov // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2021. – V. 859. – Article № 158365. – 9 p. (9 c./1 c.) (Scopus/WoS)

8. Vinnik, D.A. Changes in the structure, magnetization, and resistivity of $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ / D.A. Vinnik, **A.Yu. Starikov**, V.E. Zhivulin, K.A. Astapovich, V.A. Turchenko, T.I. Zubar, S.V. Trukhanov, J. Kohout, T. Kmjec, O. Yakovenko, L. Matzui, A.S.B. Sombra, D. Zhou, R.B. Jotania, C. Singh, Y. Yang, A.V. Trukhanov // *ACS Applied Electronic Materials*. – 2021. – V. 3, is. 4. – P. 1583-1593. (11 c./2 c.) (Scopus/WoS)

Патенты и программы:

9. Патент 2764763 Российская Федерация, МПК C01F 11/00, C01G 49/00, C04B 35/26, C04B 35/626, C04B 35/64. Способ получения замещенного титаном гексаферрита бария / **А.Ю. Стариков**, К.П. Павлова, И.А. Солизода, Д.П. Шерстюк. – № 2021110770; заявл. 16.04.21; опубл. 21.01.22, Бюл. № 3. – 12 с.

Другие публикации:

10. Starikov, A.Yu. Investigation of the electrophysical properties of titanium-substituted barium hexaferrite in the high-frequency range / **A.Yu. Starikov**, D.S. Klygach, M.G. Vakhitov, V.E. Zhivulin, D.A. Vinnik // *Book of Abstracts IX International Scientific Conference «Actual Problems of Solid State Physics»*. – Minsk: SPMRC NASB, 2021. – P. 164. (1 c./0,5 c.)

11. Vinnik, D.A. Investigation of the properties of titanium substituted barium hexaferrite / D.A. Vinnik, V.E. Zhivulin, D.A. Uchaev, S.A. Gudkova, **A.Yu. Starikov**, S.V. Trukhanov, V.A. Turchenko, T.I. Zubar, A.V. Trukhanov // Book of abstracts XII International Conference on Chemistry for Young Scientists. – St. Petersburg: SPBU, 2021. – P. 334. (1 с./0,5 с.)
12. Starikov, A. Investigation of the properties of titanium substituted barium hexaferrite / **A. Starikov**, D. Klygach, V. Zhivulin, D. Vinnik // Book of Abstracts IV International Baltic Conference on Magnetism. – Kaliningrad: IKBFU, 2021. – P. 200. (1 с./0,5 с.)
13. Винник, Д.А. Твердофазный синтез частично замещенного титаном гексаферрита бария $BaFe_{12-x}Ti_xO_{19}$ / Д.А. Винник, Д.С. Клыгач, А.С. Чернуха, В.Е. Живулин, Д.М. Галимов, **А.Ю. Стариков**, А.В. Резвый, М.Е. Семёнов, М.Г. Вахитов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Metallurgy. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 28-33. (6 с./3 с.)

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают ее основные положения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

Диссертация «Структура и физико-химические свойства монозамещенного титаном гексаферрита бария, полученного методом твердофазного синтеза» Старикова Андрея Юрьевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

ПРИСУТСТВОВАЛИ: Винник Д.А., зав. кафедрой «Материаловедение и физико-химия материалов», д.х.н.; Трофимов Е.А., профессор кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов», д.х.н.; Сенин А.В., доцент кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов», к.х.н.; Жеребцов Д.А., старший научный сотрудник кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов», д.х.н.; Ахмад Остовари Моггадам (PhD of Materials Science) старший научный сотрудник кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов»; Живулин Д.Е., старший преподаватель кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов» Живулин В.Е., старший научный сотрудник кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов»; Павлова К.П., аспирант кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов»; Шерстюк Д.П., аспирант, преподаватель кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов»; Пунда А.Ю., аспирант кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов»; Михайлов Д.В., аспирант кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов».

ПРИГЛАШЕНЫ: Барташевич Е.В., ведущий научный сотрудник НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных материалов» д.х.н.; Бескачко В.П., профессор кафедры «Физика наноразмерных систем», д.ф.-м.н.; Макаров Г.И., старший научный сотрудник НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных материалов», к.х.н.; Макарова Т.М., младший научный сотрудник НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных материалов», к.х.н.; Бородина О.С., аспирант кафедры «Теоретическая и прикладная химия», младший научный сотрудник НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных

материалов»; Зыкова А.Р., научный сотрудник НИИ «Перспективные материалы и технологии ресурсосбережения», к.х.н.; Юшина И.Д., научный сотрудник НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных материалов», к.х.н.; Маджид Насери (PhD of Materials Science) старший научный сотрудник НИЛ «Высокоэнтропийные материалы»; Авдин В.В., зав. кафедрой «Экология и химическая технология», д.х.н.; Гудкова С.А., старший научный сотрудник лаборатории «Рост кристаллов», к.ф.-м.н.; Созыкин С.А., доцент кафедры «Физика наноразмерных систем», к.ф.-м.н.

ВЫСТУПИЛИ: Бескачко В.П., профессор кафедры «Физика наноразмерных систем», д.ф.-м.н.; Живулин В.Е., старший научный сотрудник кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов», к.ф.-м.н.; Ахмад Остовари Моггадам (PhD of Materials Science) старший научный сотрудник кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов»; Барташевич Е.В., д.х.н., ведущий научный сотрудник НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных материалов».

Результаты голосования «за» – 22 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол № 2 от «31» мая 2023 г.

Председательствующий на заседании,
доктор химических наук,
старший научный сотрудник кафедры
«Материаловедение и физико-химия
материалов» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

 Д.А. Жеребцов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76
Телефон/факс: +7(351) 267-99-00, E-mail: info@susu.ru, <http://www.susu.ru>

