

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор-проректор
по научной работе

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,

доктор технических наук, доцент

 А.В. Корзов

 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 «Физико-химические закономерности формирования моно- и дизамещенных гексаферритов бария М-типа» 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 2018 г. по 2022 г. соискатель Солизода Иброхими Ашурали проходил обучение в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 15.06.01 «Машиностроение», с 2020 года по 2022 года работал инженером-исследователем кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». В настоящее время Солизода Иброхими Ашурали не осуществляет трудовую деятельность.

В 2018 г. Солизода Иброхими Ашурали окончил «Таджикский национальный университет» по специальности «Химия и технология цветных металлов».

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

Научный руководитель – Винник Денис Александрович, 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)».

Тема диссертации утверждена советом факультета «Материаловедения и металлургических технологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», протокол №2 от 27 октября 2020 г.

По результатам рассмотрения диссертации «Физико-химические закономерности формирования моно- и дызамещенных гексаферритов бария М-типа» принято следующее **заключение**:

Актуальность темы исследования

В последние два десятилетия наблюдается высокая скорость развития высокочастотной электроники. Это обусловлено развитием беспроводных средств связи, циркуляторов для приёма и передачи сигналов, средств навигации и радиолокации, работающих в СВЧ диапазоне вплоть до миллиметрового. В связи с этим появился повышенный интерес к магнитным материалам, которые имеют высокие значения температуры Кюри, намагниченности насыщения, высокую анизотропию, коррозионную и химическую стойкость. К таким магнитным материалам относят гексагональные ферриты со структурой магнетоплюмбита, в частности гексаферриты свинца, стронция и бария. Благодаря данным свойствам указанные ферриты становятся востребованными для изготовления элементов устройств в циркуляторах для приёма и передачи сигналов, в СВЧ-электронике, элементах памяти, в трансформаторах и т.д.

Вышеупомянутые характеристики данных материалов можно изменять под требования конкретных приложений путём замещения ионов железа в кристаллических решетках гексаферритов другими ионами с другими магнитными моментами, что делает их более востребованными к применению в

определенных областях. Твердые растворы на основе Al^{3+} -замещенных и Ti^{4+} -замещенных гексаферритов занимают особое место среди ион-замещенных гексаферритов. Это объясняется необходимостью увеличения анизотропии и рабочих частот материалов, перспективных для применения в устройствах миллиметрового диапазона, что обеспечивает уменьшение размера и веса СВЧ устройств. Для достижения данной цели перспективны Al^{3+} - и Ti^{4+} -замещенные гексагональные ферриты М-типа.

Стоит отметить, что к настоящему времени встречается много работ, посвященных получению и исследованию свойств гексагональных ферритов М-типа и материалов на их основе, отличающихся методами и подходами. Однако, лишь в очень небольшом количестве работ встречаются исследования процессов фазообразования и кинетики формирования данного типа феррита с получением однофазного компонента в широких концентрационных диапазонах. Это обуславливает актуальность проведения исследовательской работы по изучению процесса фазообразования и кинетики образования гексаферрита бария М-типа и ион-замещенного (Al^{3+} и Ti^{4+}) гексаферрита бария твердофазным синтезом.

В случае дизамещенного гексагонального феррита к настоящему времени в литературе не удалось найти работы, в которых ионы Fe^{3+} одновременно замещены ионами Al^{3+} и Ti^{4+} в структуре гексагонального феррита М-типа. Лишь в одном исследовании описано получение тризамещенного гексаферрита бария $BaFe_{12-x}(CoAlTi)_xO_{19}$. Поэтому синтез монофазных компонентов состава $BaFe_{12-x-y}Al_xTi_yO_{19}$ и изучение их свойств также актуальны.

В диссертационной работе Солизоды И.А. установлены механизмы фазообразования и формирования в системах $BaO-Fe_2O_3$, $BaO-Fe_2O_3-Al_2O_3$ и $BaO-Fe_2O_3-TiO_2$, разработаны физико-химические параметры, обеспечивающие получение монофазных моно- и дизамещенного гексаферрита бария изо- и гетеровалентными ионами (Al^{3+} и Ti^{4+}) твердофазным методом синтеза, а также получены однофазные образцы на основе гексаферрита бария и проведена комплексное исследование их свойств; установлены закономерности изменения параметров кристаллической решетки и свойств созданных материалов от типа и содержания замещающих железо катионов.

Практическая значимость

Созданные в настоящей работе результаты в виде значительных концентрационных линеек охарактеризованных твердых растворов со

структурой магнетоплюмбта имеют перспективу внедрения в качестве функциональных материалов электроники. Этому способствует возрастающая потребность отечественной промышленности в магнитных материалах.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые в условиях твердофазного синтеза проведён системный эксперимент по изучению процесса фазообразования в системах BaO-Fe₂O₃, BaO-Fe₂O₃-Al₂O₃ и BaO-Fe₂O₃-TiO₂ в диапазоне температур 200...1400 °С.

2. Впервые в условиях твердофазного синтеза проведено детальное изучение кинетики формирования гексаферрита бария и ионзамещенного гексаферрита бария М-типа.

3. Впервые методом твердофазного синтеза получены твердые растворы на основе гексаферрита бария в широком концентрационном ряду замещения BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x = 0...5), BaFe_{11,9-x}Al_xTi_{0,1}O₁₉, BaFe_{11,5-x}Al_xTi_{0,5}O₁₉ и BaFe_{11-x}Al_xTiO₁₉ (x = 0,1...4).

4. Впервые для созданных материалов определены закономерности влияния химического состава на параметры кристаллической решетки, а именно: BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x = 0...5) – изовалентное замещение меньшим по ионному радиусу алюминием приводит к уменьшению параметров кристаллической решетки; BaFe_{12-x-y}Al_xTi_yO₁₉ – изовалентное замещение алюминием и гетеровалентное замещение титаном приводит к уменьшению параметров решетки при разных соотношениях замещающих катионов.

5. Впервые для созданных твердых растворов установлены закономерности влияния химического состава на магнитные характеристики материалов: BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x = 0...5) – изовалентное замещение немагнитным алюминием приводит к значительному увеличению коэрцитивной силы, снижению намагниченности насыщения и температуры Кюри; BaFe_{12-x-y}Al_xTi_yO₁₉ – изовалентное замещение алюминием приводит к значительному увеличению коэрцитивной силы, снижению намагниченности насыщения и температуры Кюри, в то время как увеличение содержания титана замедляет влияние алюминия.

Личным вкладом соискателя в получении научных результатов, изложенных в диссертационной работе, являются:

Определение темы, формулировка цели и задач диссертационной работы выполнены автором Солизодой Иброхими Ашурали совместно с научным руководителем профессором РАН, доктором химических наук, доцентом Винником Денисом Александровичем. Автором данной диссертационной работы самостоятельно проведен анализ литературных источников по данной тематике, выполнен синтез твердых растворов гексаферрита бария М-типа, проведены исследования полученных материалов в части определения кристаллической структуры, фазового и химического состава и изучения магнитных свойств; анализ полученных результатов исследований; соискатель принимал активное участие в подготовке публикаций и тезисов. Результаты, вошедшие в диссертацию, получены автором лично.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность результатов проведенного исследования в данной диссертационной работе обеспечивается использованием современных методов исследования кристаллической структуры, фазового и химического состава, морфологии поверхности и магнитных свойств поликристаллических образцов, соответствием полученных результатов теоретическим представлениям и литературным данным. Основные результаты диссертационной работы представлены на специализированных всероссийских и международных конференциях.

Ценность научных работ соискателя ученой степени

Основные результаты диссертационного исследования изложены в 10 печатных работах, из них 2 публикации в рецензируемых научных журналах рекомендуемых ВАК, 2 публикации в изданиях, индексируемых наукометрическими базами данных Web of Science и Scopus, а также результаты данного исследования доложены и представлены на 6 всероссийских и международных конференциях. Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Солизода, И.А. Синтез и структура керамики бизамещенного гексаферрита М-типа $\text{BaFe}_{(11.5-x)}\text{Ti}_{0.5}\text{Al}_x\text{O}_{19}$ / И.А. Солизода, В.Е. Живулин, Д.П. Шерстюк, А.Ю. Стариков, Е.А. Трофимов, О.В. Зайцева, Д.А. Винник // Вестник Южно-

Уральского государственного университета. Серия: Химия. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 110-119. (10с/5с)

2. Солизода, И.А. Влияние замещения железа алюминием и титаном в гексаферрите бария $\text{BaFe}_{(12-2x)}\text{Ti}_x\text{Al}_x\text{O}_{19}$ на структуру и свойства / И.А. Солизода, В.Е. Живулин, А.Ю. Стариков, К.П. Павлова, Д.П. Шерстюк, Е.А. Трофимов, Т.В. Мосунова, Д.А. Винник, Г.Г. Михайлов, Г.П. Вяткин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. – 2022. – Т. 14, №1. – С. 105–113. (9с/4с)

Научные статьи, опубликованные в журналах, входящих в Web of Science и Scopus:

3. Zhivulin, V.E. Impact of Al^{3+} ions on magnetic and microwave properties of BaM:Ti hexaferrites / V.E. Zhivulin, I.A. Solizoda, D.A. Vinnik, S.A. Gudkova, E.A. Trofimov et al (всего: 14 человек) // Journal of Materials Research and Technology. – 2021. – V. 11. – P. 2235-2245. (11p/2p) (Web of Science и Scopus)

4. Pavlova, K.P. Synthesis, structure and properties of barium ferrites $\text{BaFe}_{11}\text{M}_1\text{O}_{19}$ (M=Al, Ti and Mn) ceramics / K.P. Pavlova, I.A. Solizoda, D.A. Vinnik // Materials Science Forum. – 2022. – V. 1052. – P. 172–177. (6p/2p) (Scopus)

Публикации в других изданиях:

5. Solizoda I.A. Impact of Al^{3+} ions on magnetic and microwave properties of BaM:Ti hexaferrites / I.A. Solizoda, V.E. Zhivulin, E.A. Trofimov, S.V. Taskaev, A.V. Trukhanov, A.S. Chernucha, D.A. Vinnik // The IV International Baltic Conference on Magnetism. Book of Abstracts. – Svetlogorsk, 2021. – P. 198. (1p/0,5p)

6. Solizoda I.A. Study of effect of the doping element on the structure and properties of barium hexaferrite / I.A. Solizoda, V.E. Zhivulin, E.A. Trofimov, D.A. Vinnik // XII International Conference on Chemistry for Young Scientist. Book of Abstracts. – Saint-Petersburg, 2021. – P. 320. (1p/0,6p)

7. Solizoda I.A. Impact of Al^{3+} ions on the magnetic properties of barium hexaferrite / I.A. Solizoda, V.E. Zhivulin, S.V. Taskaev, D.A. Vinnik // IX International Scientific Conference Actual Problems of Solid State Physics. Book of Abstracts. – Minsk, 2021. – P. 163. (1p/0,6p)

8. Гудкова С.А. Функциональные материалы на основе ферритов со структурой магнетоплюмбита и шпинели / С.А. Гудкова, В.Е. Живулин, Д.П.

Шерстюк, И.А. Солизода, Д.А. Винник // IV Байкальский материаловедческий форум. Материалы всероссийской научной конференции с международным участием. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2022. – С. 277-278. (2с/0,5с)

9. Солизода, И.А. Синтез, структура и свойства функциональных материалов на основе Al-Ti -замещенного гексаферрита бария / И.А. Солизода, В.Е. Живулин, А.Ю. Стариков, С.В. Таскаев, Д.А. Винник // IV Байкальский материаловедческий форум. Материалы всероссийской научной конференции с международным участием. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2022. – С. 435-436. (2с/1с)

10. Солизода И.А. Магнитная структура твердых растворов Al^{3+} и Ti^{4+} - замещенного гексаферрита бария М-типа / И.А. Солизода, В.Е. Живулин, С.А. Гудкова, В.Г. Костишин, Д.А. Винник // X Международная научная конференция «Актуальные проблемы физики твердого тела». Сборник тезисов. – Минск, 2023. – С. 56. (1с/0,4с)

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 работы.

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 ссылок на авторов и (или) источники заимствования.

Диссертация «Физико-химические закономерности формирования моно- и дизамещенных гексаферритов бария М-типа» Солизода Иброхими Ашурали **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» Южно-Уральского государственного университета.

ПРИСУТСТВОВАЛИ: Винник Д.А., зав. кафедрой «Материаловедение и физико-химия материалов», д.х.н., доцент, профессор РАН.; 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»; 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., д.х.н., ведущий научный сотрудник НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных материалов»; 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.; Живулин В.Е., старший научный сотрудник лаборатории «Рост кристаллов»; 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: Трофимов Е.А., профессор кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов», д.х.н.; Жеребцов Д.А., старший научный сотрудник кафедры «Материаловедение и физико-химии материалов», д.х.н.; Авдин В.В., зав. кафедрой «Экология и химическая технология» д.х.н., Бескачко В.П., профессор кафедры «Физика наноразмерных систем», д.ф.-м.н.

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)». Результаты голосования «за» – 22 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол №1 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
Тель/факс: +7(351) 267-99-00, E-mail: info@susu.ru, http://www.susu.ru

