

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Старикова Андрея Юрьевича «Структура и физико-химические свойства монозамещенного титаном гексаферрита бария, полученного методом твердофазного синтеза», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия

Актуальность темы. Данное исследование актуально в свете неуклонного темпа роста технологий и постоянной потребности в разработке материалов с регулируемыми магнитными и электрическими свойствами. Гексагональные ферриты М-типа представляют собой перспективный материал благодаря своему кристаллическому строению, анизотропии свойств и высоким значениям диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости. Важное преимущество заключается в возможности модификации кристаллической структуры за счет замещения ионов железа различными легирующими элементами. Это открывает широкие перспективы для настройки функциональных характеристик материала в соответствии с требованиями различных отраслей промышленности. Исследование предлагает подход, который позволяет контролируемо изменять свойства материала путем варьирования состава смеси при его синтезе, что открывает перспективы для разработки материалов с оптимальными свойствами для применения в области электроники.

В связи с этим диссертация Старикова А.Ю., обобщающая результаты экспериментальных и теоретических исследований влияния замещения титаном части железа в гексаферрите бария, несомненно, является актуальной и имеющей перспективу прикладного применения.

Научная новизна и практическая значимость исследований. В диссертации Старикова А.Ю. представлены результаты, обладающие научной новизной и имеющие практическую значимость:

– на основе литературных данных и экспериментальных результатов была разработана термодинамическая модель фазовых равновесий для системы BaO-

$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, а также были получены результаты моделирования зависимости фазового состава от температуры;

– были определены комплексы физико-химических параметров, которые позволяют получать образцы замещенного титаном гексаферрита бария $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ методом твердофазного синтеза. В экспериментах были получены образцы с различными уровнем замещения x (от 0 до 2,0 с шагом 0,25);

– впервые были установлены зависимости параметров решетки от содержания титана в созданных концентрационной линейке твердых растворов $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$. Установлена зависимость структуры материала от модификации его состава;

– также впервые были установлены зависимости магнитных свойств (намагниченность насыщения, температура Кюри) от содержания замещающего элемента – титана в созданных твердых растворах $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$.

Твердые растворы с модифицированными свойствами и структурой магнетоплюмбита представляют высокую значимость в практическом применении в развивающейся электронике, включая область СВЧ диапазона. Эти материалы могут успешно использоваться в качестве функциональных компонентов для различных приборов, предлагая улучшенные характеристики производительности и способности функционировать при высоких частотах. Следовательно, эти твердые растворы имеют огромный потенциал для применения в современных технологиях электроники и являются важным вкладом в отечественную науку и промышленность.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Для обеспечения достоверности результатов исследования использовались современные методы и техники анализа структуры, состава и свойств образцов, а также специализированное программное обеспечение. Полученные результаты соответствуют актуальным теоретическим представлениям и согласуются с данными, описанными другими исследователями в литературных источниках. Кроме того, основные результаты работы были опубликованы в 13 печатных работах, включая публикации в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus, а также результаты были представлены на международных

конференциях. В дополнение к этому, Стариков А.Ю. получил 1 патент на изобретение, подтверждая практическую значимость исследования. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации, характеризуют результаты проведенных исследований.

Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Диссертация Старикова А.Ю. состоит из введения, 3 глав, основных результатов, приложения и библиографического списка.

Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования, формируется цель и основные задачи работы. Представлено описание предлагаемого автором подхода к решению поставленных задач, характеризуется степень новизны полученных результатов и их апробация.

В первой главе представлен аналитический обзор литературных данных о различных типах, свойствах и применениях ферритов со структурой шпинели, граната и магнетоплюмбита. Дан обзор и систематизация результатов получения кристаллов, керамики и порошков гексагональных ферритов, где рассмотрены параметры процессов роста, результаты выращивания кристаллов, синтеза керамики и исследования свойств материалов. Также описаны наиболее востребованные и актуальные области применения гексаферритов и твердых растворов на их основе. Указано, что данные материалы имеют широкий спектр применений в технике СВЧ (фильтры, фазовращатели, вентили, генераторы, шумоподавители и другие), элементах солнечных панелей/батарей, магнитопластах/магнитоэластах, устройствах магнитной записи и хранения информации. Помимо этого, рассмотрены ранее полученные данные для систем $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, BaO-TiO_2 , $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$.

Во второй главе представлен тепловой расчет высокотемпературной установки. Установка предназначена для спекания керамических материалов в атмосфере воздуха в широком интервале температур. Тепловой расчет включает в себя составление теплового баланса, который связывает приход и расход тепла. Расчет теплового баланса позволяет определить технико-экономические показатели работы установки.

Третья глава описывает проведенное исследование для системы BaO-Fe₂O₃-TiO₂. Путем анализа литературных данных и собственных экспериментов была сформирована термодинамическая модель фазовых равновесий и получены результаты моделирования зависимости фазового состава от температуры для этой системы. Это позволило выполнить предварительную оценку интервала температур, подходящего для синтеза гексаферрита бария.

На основе выбранной температуры синтеза, 1350°C, была изготовлена высокотемпературная установка, для которой были определены технико-экономические показатели. Получены образцы замещенного титаном гексаферрита бария с разной степенью замещения, которые были подвергнуты исследованию структуры и свойств.

Результаты рентгенофазового анализа показали, что замещение титаном Fe³⁺ в BaFe₁₂O₁₉ приводит к изменению параметров кристаллической решетки. Обнаружена зависимость положения точек фазового перехода от степени замещения. Изломы, связанные с переходами, оказались незначительными, возможно, из-за ослабления межобменного взаимодействия. Допирование гексаферрита бария катионами титана также приводит к контролируемому изменению магнитных свойств соединения, что делает его перспективным для микроволновых применений.

Таким образом, основное содержание текста состоит из результатов исследования термодинамических свойств и синтеза гексаферрита бария с замещением титаном, а также их влияния на структуру и свойства материала.

В целом диссертация Старикова А.Ю. является законченным исследованием, в котором определены закономерности влияния химического состава твердых растворов со структурой магнетоплюмбита на кристаллическую структуру и свойства. Однако к работе имеются следующие **замечания**:

1. На рисунке 21 (с. 84) имеется разногласие с данными, представленными в таблице 9 (с.83).
2. На с.81 приведено изображение одного единственного образца из линейки полученных образцов. На поверхности можно наблюдать некоторую пористость. Проводили ли исследования с целью определения пористости?

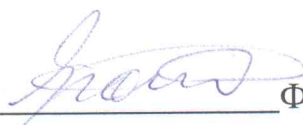
3. Синтез образцов проводили только твердофазным методом. Были попытки синтеза монозамещенного титаном гексаферрита бария другими методами?

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Старикова А.Ю.

Заключение. Уровень решаемых задач представляется соответствующим требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата химических наук. Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.4. Физическая химия.

Считаю, что диссертация Старикова Андрея Юрьевича «Структура и физико-химические свойства монозамещенного титаном гексаферрита бария, полученного методом твердофазного синтеза» удовлетворяет критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности выводов, предъявляемым к кандидатским диссертационным п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 (в ред. от 18.03.2023), а ее автор, Стариков Андрей Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Официальный оппонент
доцент кафедры «химия твердого
тела и нанопроцессов»
ФГБОУ ВО «Челябинский
государственный университет»,
кандидат химических наук, (02.00.04
– Физическая химия)



Ф.А. Ярошенко

Ярошенко Федор Александрович
ФГБОУ ВО «Челябинский
государственный университет»
454001, г. Челябинск, ул. Братьев
Кашириных, 129
Тел.: +7(905)834-21-10
fedor_yaroshenko@mail.ru



Подпись Ярошенко Ф.А.
удостоверяю А.А. Андреев

степень имеет по катр/04

04.09.2023