

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Солизода Иброхими Ашурали

«Физико-химические закономерности формирования моно- и дизамещенных гексафферитов бария М-типа», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4 – «Физическая химия».

Актуальность избранной темы

Значимость магнитных материалов в современном мире сложно переоценить. Магниты используются в широком спектре промышленных и технологических приложений. Ферриты с гексагональной структурой или гексаффериты относятся к особому виду магнитных оксидов, демонстрирующих потенциал для различных применений, включая постоянные магниты и компоненты электрических устройств. Благодаря магнитным характеристикам, высокому электрическому сопротивлению, химической стабильности и низкой стоимости, гексафферитные магниты обладают рядом конкурентных преимуществ перед изделиями на основе ферромагнитных металлов и сплавов. Более того, за последние годы продемонстрированы многообещающие научные результаты в области развития технологий на основе гексафферитов. Даже умеренные улучшения их магнитных характеристик могут привести к существенному замещению дорогостоящих редкоземельных магнитов и внести весомый вклад в развитие рынка магнитных материалов.

Интенсивное изучение гексафферита М-типа $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и его производных, главным образом основывается на возможности их использования при более высокой частоте по сравнению с другими типами ферритов, что обусловлено величиной собственной магнитокристаллической анизотропии. Перспективным прикладным направлением для гексафферита бария является СВЧ-техника: ферриты могут выполнять функции высококачественных резонаторов, нелинейных элементов, гиротропных и замедляющих сред. Допирование является одним из главных инструментов по варьированию свойств гексафферита бария, корректировка химического состава позволяет целенаправленно регулировать магнитные свойства в соответствии с конкретной практической задачей. Однако введение допирующих ионов оказывает влияние на морфологию и анизотропию материала, а также на процессы синтеза и спекания. Диссертационная работа И.А. Солизода посвящена синтезу серий твердых растворов на основе $\text{BaFe}_{12-x-y}\text{Al}_x\text{Ti}_y\text{O}_{19}$, с

целью определения физико-химических закономерностей формирования поликристаллических однофазных ферритов и системного изучения влияния природы и концентраций допантов на их магнитные характеристики. Выполнение подобных комплексных исследований предполагает установление взаимосвязей между составом, структурой и магнитными характеристиками с одной стороны, а с другой выявляется важная информация по оптимальному получению материалов, включая кинетику протекания химических реакций и параметры синтеза, поэтому тематика диссертационной работы является актуальной как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Высокая степень обоснованности научных положений базируется на экспериментальных данных, полученных с использованием современного и надежного оборудования. Экспериментальные данные, в большинстве случаев дополняющие друг друга, интерпретируются с учетом общепринятых теоретических представлений, подтверждая достоверность достигнутых результатов. Важным аспектом является систематическое сравнение обнаруженных тенденций в изменении свойств исследованных материалов, а также корреляций между ними и существующими литературными данными. Использование такого подхода исключает сомнения в корректности сформулированных выводов.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Один из ключевых аспектов новизны работы, безусловно, заключается в получении новых однофазных твердых растворов на основе $\text{BaFe}_{12-x-y}\text{Al}_x\text{Ti}_y\text{O}_{19}$, где реализовалась стратегия содопирования различными по степени окисления катионами. В целом, научная новизна результатов не вызывает сомнений, поскольку работа была направлена на выполнение системного исследования твердых растворов на основе гексаферрита бария М-типа $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, позволившего впервые выявить характер зависимостей ряда функциональных свойств от состава (концентрации алюминия и титана), а именно:

- В работе впервые определены закономерности влияния концентрации допанта/допантов на параметры кристаллической решетки в твердых растворах

$\text{BaFe}_{12-x}\text{Al}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0 \dots 5$) и $\text{BaFe}_{12-x-y}\text{Al}_x\text{Ti}_y\text{O}_{19}$ ($x = 0.1 \dots 4, y = 0.1; 0.5; 1$);

- Впервые для синтезированных оксидов $\text{BaFe}_{12-x}\text{Al}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0 \dots 5$) и $\text{BaFe}_{12-x-y}\text{Al}_x\text{Ti}_y\text{O}_{19}$ ($x = 0.1 \dots 4, y = 0.1; 0.5; 1$) установлены закономерности влияния уровня допирования на их магнитные характеристики;

- Впервые в условиях твердофазного синтеза проведено детальное изучение процессов фазообразования в системах $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ в широком диапазоне температур 200–1400 °С; а также проведено исследование фазовых формирований в составах $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и $\text{BaFe}_9\text{Al}_3\text{O}_{19}$ в зависимости от временного параметра синтеза.

Теоретическая и практическая значимость работы

Диссертацию можно охарактеризовать как хорошо спланированную и структурированную исследовательскую работу, в результате которой синтезированы новые гексафериты со структурой магнетоплюбита и наработан большой массив данных по параметрам синтеза и процессам фазообразования, по структурным и магнитным характеристикам трех серий твердых растворов на основе $\text{BaFe}_{12-x}\text{Al}_x\text{O}_{19}$, $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ и $\text{BaFe}_{12-x-y}\text{Al}_x\text{Ti}_y\text{O}_{19}$. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и синтезе мультикатионных оксидов с заданными магнитными характеристиками, в частности, для применения в качестве функциональных материалов электроники.

Степень отражения в автореферате диссертации и публикациях содержания проведенного исследования.

Основное содержание и выводы диссертационной работы полностью отражены в автореферате и в публикациях.

Замечания

- 1) К сожалению, текст диссертационной работы не лишен опечаток, грамматических и лексических ошибок, а также некорректных формулировок, в частности «Результаты фазового анализа твердых растворов...по методу Ритвельда» и «Спектр рентгеновской дифракции образцов».
- 2) Название главы III предполагает изучение кинетики твердых растворов состава

$BaFe_{12}O_{19}$, $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ и $BaFe_{12-y}Ti_yO_{19}$, однако в случае образцов с титаном какой-либо информации по кинетике в работе не представлено. При анализе концентрационных зависимостей коэрцитивной силы (H_c) серий твердых растворов $BaFe_{12-x-y}Al_xTi_yO_{19}$ делается заключение, что «Увеличение H_c может быть связано с уменьшением размеров частиц». На чем основывается это заключение, если данных по размеру частиц составов с алюминием и титаном не приводится?

- 3) Технологические схемы твердофазного синтеза ферритных материалов зачастую предусматривают многократное чередование операций помола и термообработки. Предпринимались ли попытки достичь однофазности составов $BaFe_6Al_6O_{19}$ и $BaFe_{10.5}Ti_{1.5}O_{19}$ путем увеличения стадий твердофазного синтеза?
- 4) В работе утверждается, что электронейтральность элементарной ячейки ферритов при замещении катионами Ti^{4+} обеспечивается образованием Fe^{2+} , подтверждалось ли наличие Fe^{2+} в исследуемых составах? В литературе встречаются сведения о возможности образования вакансий в катионных позициях решетки гексафферита бария при допировании, возможно ли присутствие таких вакансий в синтезированных оксидах $BaFe_{12-y}Ti_yO_{19}$ и $BaFe_{12-x-y}Al_xTi_yO_{19}$? Также, способна ли оказывать влияние на электронейтральность данных составов дефектность кислородной подрешетки?
- 5) Как можно интерпретировать различия в закономерностях, наблюдаемых при построение Ti -концентрационных зависимостей при постоянном содержании алюминия? В частности, для ряда $BaFe_{11.9-y}Al_{0.1}Ti_yO_{19}$ ($y=0.1, 0.5, 1.0$) с минимальным содержанием алюминия наблюдается увеличение объема элементарной ячейки и снижение коэрцитивной силы с ее последующим ростом. Тогда как для ряда $BaFe_{8-y}Al_4Ti_yO_{19}$ ($y=0.1, 0.5, 1.0$) с максимальным содержанием алюминия прослеживается снижение объема элементарной ячейки с ее последующим ростом, при этом коэрцитивная сила падает.

Заключение

Данные замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертационная работа Солизоды Иброхими Ашурали «Физико-химические закономерности формирования моно- и дизамещенных гексафферитов бария М-типа» является законченным научным исследованием и полностью соответствует требованиям пп. 9-11,

13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата химических наук, а её автор, Солизода Иброхими Ашурали, вне всякого сомнения, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4 – «Физическая химия».

Официальный оппонент: Меркулов Олег Владимирович, кандидат химических наук по специальности 02.00.21-химия твердого тела, старший научный сотрудник Лаборатории оксидных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук.

«4» сентября 2023 г.

Меркулов О.В.

Согласен на обработку персональных данных

«4» сентября 2023 г.

Меркулов О.В.

Подпись О.В. Меркулова заверяю

Ученый секретарь ИХТТ УрО РАН



Богданова Е.А.

Контактная информация.

Почтовый адрес: 620990, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91, ИХТТ УрО РАН

Телефон: +7(343)374-52-19

e-mail: server@ihim.uran.ru