

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Юго-Западный государственный университет**

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, Тел. +7 (4712) 50-48-00, E-mail:  
rector@swsu.ru

04 АПР 2025 № 20-39/1238

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ»**

ВРИО проректора по научной работе и  
международной деятельности ФГБОУ ВО  
«Юго-Западный государственный университет»

кандидат технических наук, доцент

А. Ю. Алтухов  
4 апреля 2025 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (ФГБОУ «ЮЗГУ») на диссертационную работу Аль-Хафаджи Хусам Имад Махмуд «Особенности структуры и свойств наночастиц и наноразмерных порошков  $\text{BaFe}_{12-x}\text{Me}_x\text{O}_{19}$  при различных замещениях в железной подрешетке», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников.

Монокристаллические формы гексагональных ферритов – соединений со структурой магнетоплюмбита, одним из ярких представителей которых является гексаферрит бария  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  с момента из синтеза, оказались в зоне пристального исследовательского интереса, что обусловлено совмещением в них целого ряда уникальных функционально-эксплуатационных свойств, удовлетворяющих резко возрастающим потребностям в материалах для электронной техники, включая телекоммуникации с частотным диапазоном до 5G и 6G связи, в

постоянных магнитах, жестких дисках, микроволновых устройствах и лечении опухолей. В этой связи, представленные в диссертационной работе Аль-Хафаджи Хусам Имад Махмуд, результаты по гидротермальному синтезу, изготовлению и комплексной характеристике керамик на основе нанокристаллических порошков  $BaFe_{12-x}Me_xO_{19}$  с замещающими металлами из Ni, Co, Al- и Cr с варьированием концентрационно-катионных распределений и за счет частичного обрыва обменных связей Fe-O-Fe и конфигурационных превращений по длине и углу связи магнитных ионов Fe, вполне обоснованно являются актуальными и имеют важное как научное, так и прикладное значение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 129 страницах, включает 59 рисунков и 22 таблицы. Структура работы включает введение, четыре главы, заключение и список использованной литературы из 221 наименования.

Во **введении** автор обосновывает актуальность темы диссертационного исследования, определяет цель и задачи работы, формулирует научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена обзору научной литературы по теме диссертации, где описаны физико-химические свойства гексаферритов M-типа, рассмотрены основные методы синтеза ферритов. Особое внимание уделено гидротермальному методу и его особенностям, который непосредственно используется в работе. Проанализировано влияние металлических замещений Fe на магнитные свойства гексаферритов. Приведены работы с жидкофазным спеканием керамик, включая получение объемных образцов ферритов из порошков, синтезированных гидротермальным методом.

**Вторая глава** посвящена результатам гидротермального синтеза порошков незамещенных ферритов  $BaFe_{12}O_{19}$  и  $SrFe_{12}O_{19}$ . Показано, что

гексаферрит образуется только путем высокотемпературного отжига, образующегося осадка, возникающего при гидротермальном синтезе из растворов-прекурсоров. Приведены оптимальные соотношения Fe/Ba и Fe/Sr для максимального выхода образцов гексаферритов.

В **третьей главе** представлены результаты анализа влияния, замещающих ионов  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{Cr}^{3+}$ , на структуру и свойства порошков гексаферритов  $\text{BaFe}_{12-x}\text{Me}_x\text{O}_{19}$ , полученных методом гидротермального синтеза. Установлено, что с ростом концентрации  $\text{Co}^{2+}$  или  $\text{Cr}^{3+}$  замещающих магнитные ионы  $\text{Fe}^{3+}$ , как и с увеличением соотношения диаметра к толщине частиц наблюдается значительное снижение коэрцитивности, что согласуется с выводами из представленной расчетной модели для однодоменной частицы гексаферрита.

В **четвертой главе** представлены результаты по синтезу ферритовой керамики, обладающей достаточно высокой коэрцитивной силой, сопоставимой с ее величиной для порошков  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Описана методика жидкофазного спекания с легкоплавкими добавками  $\text{V}_2\text{O}_5$  или  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Это позволило получить керамику, в которой уменьшение коэрцитивной силы не превышало 15%, то есть ее величина сохранялась на уровне, заметно превышающем показатели большинства известных марок гексаферритов бария, что свидетельствовало о перспективности практического применения предложенного подхода.

В **заключении** традиционно сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения работы.

**Основной целью работы** являлось расширение имеющихся представлений о гидротермальном синтезе гексаферритов, в частности изучение влияния различных замещающих катионов на их магнитные свойства. Следует признать ее достижение.



**Научная новизна работы** заключается в том, что методом гидротермального синтеза получены Ni-, Co-, Al- и Cr-замещенные гексаферриты бария; изучено влияние типа и концентрации замещающих элементов на микроструктуру и магнитные свойства полученных ферритов; установлена зависимость коэрцитивной силы частицы феррита бария от ее формы.

**Практическая значимость работы** заключена в том, что из полученных ферритов  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  с коэрцитивной силой в  $\approx 450$  кА/м и  $\approx 470$  кА/м были изготовлены порошки для создания объемных керамических образцов, применяемых в качестве ферритовых постоянных магнитов с улучшенными характеристиками. Результаты работы могут быть рекомендованы для изготовления постоянных магнитов с улучшенными характеристиками. Результаты работы могут быть востребованы в АО «НПП «ИСТОК»» и АО «НИИ «Феррит-Домен».

**Достоверность и обоснованность** основных положений и выводов диссертационной работы подтверждены применением современных методов исследования и согласованностью полученных результатов с литературными данными. Автором опубликовано 5 научных статей в журналах, индексируемых в базах цитирования Scopus и Web of Science. Результаты работы докладывались на двух международных конференциях.

Настоящая диссертационная работа является логически завершенным научным исследованием, содержащим решение актуальной задачи, направленной на получение новых материалов на основе гексаферритов М-типа с уникальными магнитными свойствами, изложена в логически последовательной форме, а ее содержание соответствует паспорту заявленной специальности 1.3.11 – Физика полупроводников.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат в достаточной степени отражает содержание работы и дает наглядное представление о полученных результатах.

По диссертационной работе имеются **следующие замечания:**

1. Обращает на себя внимание крайне неравномерное распределение материала в диссертационной работе по 4 главам содержащих соответственно: 33, 15, 45, 10 страниц. В результате оригинальная глава 4 выглядит достаточно описательно и весьма представлено крайне лаконично, хотя касается реализации гидротермального синтеза наноструктурированной керамики без традиционно используемого высокотемпературного нагрева, вызывающего снижение коэрцитивности. Тогда как ферриты  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ , полученные в настоящей работе в условиях низкотемпературного жидкофазного спекания, имеют коэрцитивную силу превышающую 420 кА/м, то есть существенно выше, чем у известных марок этой керамики.

2. Представленная модель зависимости коэрцитивной силы частицы от соотношения ее размеров, во первых, рассмотрена только незамещенных и Со-замещенного ферритов, тогда как остальные образцы ферритов, замещенных Ni, Al и Cr, оставлены без внимания. Во вторых, она построена в предположении, что частицы ВаМ «являются однодоменными, поэтому даже в отсутствии магнитного поля будут обладать намагниченностью». Однако далее помимо поворота магнитных моментов в поле не исключается «образование и рост домена с направлением намагниченности, противоположным исходному». Следовало бы более детально описать механизмы перемагничивания и определить границы их реализации в магнитных полях.

3. Предлагается использовать синтезированные порошки для получения керамики и создания на ее основе постоянных магнитов, но для

такого применения нужны анизотропные образцы с высокой остаточной намагниченностью. Полученные в работе ферритовые пластины, судя по всему, являются изотропными.

4. Для получения порошков ферритов использовался метод гидротермального синтеза, но непосредственно ферритовая фаза была получена только после дополнительной высокотемпературной обработки порошка-прекурсора при  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Возникает сомнение в корректности формулировок типа «...полученных гидротермальным синтезом...» в отношении исследуемых образцов.

Данные замечания не снижают общую высокую оценку работы, которая выполнена на современном научно-техническом уровне, а ее результаты могут быть использованы в научном и прикладном плане.

### **Заключение**

Диссертационное исследование Аль-Хафаджи Хусам Имада Махмуда представляет завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему: «Особенности структуры и свойств наночастиц и наноразмерных порошков  $\text{BaFe}_{12-x}\text{Me}_x\text{O}_{19}$  при различных замещениях в железной подрешетке».

Представленные в работе результаты исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы. Работа выполнена на высоком теоретическом, экспериментальном и аналитическом уровне.

Диссертационная работа Аль-Хафаджи Х. И. М. «Особенности структуры и свойств наночастиц и наноразмерных порошков  $\text{BaFe}_{12-x}\text{Me}_x\text{O}_{19}$  при различных замещениях в железной подрешетке» соответствует требованиям ВАК РФ «Положение о порядке присуждения ученых степеней» (ред. от 26.09.2022), а ее автор, Аль-Хафаджи Хусам Имад Махмуд, заслуживает присуждение ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников.



Результаты диссертационной работы Аль-Хафаджи Х. И. М. в режиме on-line доложены соискателем и обсуждены на объединенном семинаре Регионального центра нанотехнологий и кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Юго-Западного государственного университета (протокол №3 от 21 марта 2025

[https://swsu.ru/news/science/v\\_yuzgu\\_obsudili\\_voprosy\\_issledovaniya\\_sovremennykh/](https://swsu.ru/news/science/v_yuzgu_obsudili_voprosy_issledovaniya_sovremennykh/)).

Доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Регионального центра нанотехнологий ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

(специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния)

Кузьменко Александр Павлович

«04» апреля 2025 г.

Подпись профессора ФГБОУ ВО «ЮЗГУ»

Кузьменко А.П. удостоверяю.

4 апреля 2025 г.



*Кузьменко А. П.*  
*Матюшина С. П.*