



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ИСТОК» ИМЕНИ А.И.ШОКИНА»**



Вокзальная ул., д.2а, корпус 1, комната 65, этаж 2, г.Фрязино, Московская область, Россия, 141190, тел.:+7 (495) 465-86-66;  
факс:+7 (495) 465-86-86 www.istokmw.ru; E-mail:info@istokmw.ru, ОГРН 1135050007400, ИНН 5050108496

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Заместитель генерального директора-  
директор по научной работе



С.В. Щербаков

06

2018 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертационную работу

Тимофеева Андрея Владимировича «Получение поликристаллических  
гексагональных ферритов типа М с мультиферроидными свойствами и  
повышенными значениями степени магнитной текстуры», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников,  
материалов и приборов электронной техники»

**Актуальность темы диссертационной работы**

Гексагональные ферриты открытые более полувека назад являются одним из основных магнитных материалов на сегодняшний день, используемый, например, в качестве постоянных магнитов, для хранения данных на основе магнитной записи, а также в качестве компонентов в электрических устройствах, которые в частности работают на частотах СВЧ.

Гексагональные ферриты – это ферромагнитные материалы и их магнитные свойства неразрывно связаны с их кристаллическими структурами.

В последнее десятилетие наблюдается нарастающий интерес к гексаферритам из-за их более экзотических применений. Одним из самых интересных событий стало открытие проявления мультиферроидных свойств в гексаферритах типа Y при криогенной температуре и в гексаферритах типа Z при комнатной температуре. Характерно, что известные на сегодняшний день высокотемпературные мультиферроики обладают слабыми магнитными свойствами. Для практических задач магнитоэлектроники, в частности для создания электрически управляемых магнитов, потребуются мультиферроики с большими значениями намагниченности и коэрцитивной силы. Претендентами на эту роль могут быть соединения, созданные на базе гексагональных ферритов типа M.

Также внимание обращено на способы получения наноразмерных гексаферритов, на основе которых в частности могут быть получены подложки с высокой степенью магнитной текстуры для высокочастотных микрополосковых устройств СВЧ-электроники.

С учетом вышеизложенного, тема представленной диссертационной работы Тимофеева А.В., является весьма актуальной.

### **Содержание работы**

Диссертационная работа Тимофеева А.В. содержит введение, 4 главы, общие результаты и выводы, список публикаций по теме диссертации, список используемой литературы. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, содержит 12 таблиц, 51 рисунок. Список используемой литературы включает 189 наименований.

Цель диссертационной работы состояла в изучении возможности получения поликристаллических гексагональных ферритов типа M с мультиферроидными свойствами, а также в разработке основ технологии



получения наноразмерных порошков  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  для создания на их основе подложек с высокой степенью магнитной текстуры.

В литературном обзоре представлена общая характеристика гексагональных ферритов типа М. Рассмотрены кристаллическая и магнитная структура гексаферрита бария типа М. Более детально рассмотрены магнитные свойства гексаферритов  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Описаны технологии получения гексаферритов по исследованиям последних лет, среди которых подробно изложены: промышленная керамическая технология, метод химического соосаждения, золь-гель метод и гидротермальный синтез. Был сделан вывод о том, что для получения мелкодисперсных частиц с равномерным распределением по размерам предпочтительнее использовать химический способ. Также в работе рассмотрены мультиферроики, их виды, отдельно отмечены высокотемпературные мультиферроики и их свойства.

Подробно описаны модифицированная керамическая технология для получения поликристаллических гексаферритов типа М с мультиферроидными свойствами и метод химического осаждения для получения наноразмерных порошков  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Представлена информация об объектах исследования.

Описаны различные способы идентификации и обработки полученных образцов, а также методики проведения измерений магнитных и сегнетоэлектрических характеристик объектов исследования.

Полученные результаты позволяют заключить, что гексагональные ферриты бария и стронция, приготовленные из высокочистого сырья по керамической технологии с добавкой оксида бора, при спекании в атмосфере кислорода являются прекрасными высокотемпературными мультиферроиками.

Исследовано влияние технологии получения ферритизированного порошка на степень магнитной текстуры пластин на основе гексаферритов  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ .

### **Научная новизна полученных результатов**

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов заключается в том, что автором впервые получены гексагональные поликристаллические ферриты  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ , проявляющие интенсивные мультиферроидные свойства при комнатной температуре.

Методом химического соосаждения впервые получены однофазные наноразмерные порошки  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  с размером частиц 70-140 нм для бариевого гексаферрита и 60-130 нм для стронциевого гексаферрита.

Впервые показано, что использование в технологии поликристаллических гексаферритов полученных методом химического соосаждения наноразмерных порошков  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  позволяет получать на основе этих порошков пластины гексаферрита бария и стронция с повышенной степенью магнитной текстуры.

### **Практическая значимость работы**

Предложенная модифицированная керамическая технология позволяет получать поликристаллические гексаферриты  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  с интенсивными мультиферроидными свойствами при комнатной температуре.

Разработан способ получения наноразмерных частиц гексаферрита стронция, позволяющий повысить однородность частиц (размер частиц 60 – 130 нм).

Разработан способ получения наноразмерных частиц гексаферрита бария, позволяющий повысить однородность частиц (размер частиц 70 – 140 нм).

Полученные автором результаты подтверждены 2 патентами на изобретение (патент РФ № 2612289, патент РФ № 2611442).

По материалам диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК по специальности, 2 статьи в журналах, входящих в базы WOS, 3 статьи в журналах, входящих в



базы SCOPUS, 8 статей в сборниках материалов и докладов международных конференций. Получено 2 патента на изобретения и 4 НОУ-ХАУ.

Достоверность и обоснованность основных положений и выводов диссертационной работы подтверждены применением современных методов исследований, воспроизводимостью результатов эксперимента, согласованием полученных результатов с литературными данными, а также практической апробацией полученных в работе результатов.

Результаты работы могут быть рекомендованы для применения в СВЧ-электронике, где гексаферриты с мультиферроидными свойствами позволят создать компактные феррит-сегнетоэлектрические фазовращатели, циркуляторы, ответвители с совместным электрическим и магнитным управлением с улучшенными частотными и электромагнитными характеристиками. С результатами работы следует ознакомиться АО «НПП «Исток» им. Шокина», ООО «Нева-Феррит», АО «НИИ «Феррит-Домен», АО «НПП «Фаза».

Полученные в диссертационной работе результаты имеют важное фундаментальное и практическое значение для развития науки в нашей стране.

Диссертация изложена в логически последовательной форме, а ее содержание соответствует паспорту заявленной специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», п.п. 1 – 4.

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

По диссертационной работе имеются **следующие замечания:**

1. В главе 1, в выводах не описан выбор керамической технологии и её последующей модификации для получения поликристаллических гексагональных ферритов типа М с мультиферроидными свойствами.

2. В пункте 2.1, на рисунке 13 и в последующем тексте используется слово «калка», хотелось бы получить объяснение по поводу значения этого слова.

3. В пункте 3.2 на рисунках 21 и 22, 24 и 25 петли гистерезиса имеют разную размерность по величине намагниченности.

4. В диссертации присутствуют опечатка на странице 93 фраза «приспекании» написана слитно.

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**

Представленные в работе результаты исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы. Работа выполнена на высоком теоретическом, экспериментальном и аналитическом уровне. В диссертации соблюдаются принципы соответствия поставленной цели, задачи исследования и полученных результатов исследования.

Настоящая диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение актуальной задачи: получение магнитотвердой ферритовой керамики со структурой магнетоплюмбита модифицированной керамической технологией и получение наноразмерных порошков химическим способом, имеющими существенное значение для отрасли производства СВЧ-электроники.

Диссертационная работа Тимофеева Андрея Владимировича «Получение поликристаллических гексагональных ферритов типа М с мультиферроидными свойствами и повышенными значениями степени магнитной текстуры» является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему, имеющим важное научное и практическое значение, соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденного постановлением



Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор Тимофеев Андрей Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Диссертационная работа Тимофеева А.В. «Получение поликристаллических гексагональных ферритов типа М с мультиферроидными свойствами и повышенными значениями степени магнитной текстуры» заслушана и одобрена на заседании НТС научно-производственного комплекса (НПК-9) разработки и производства новых материалов микроэлектроники, интегральных ферритовых устройств и магнитных систем Акционерного Общества «Научно-производственного предприятия «Исток» имени А.И. Шокина». Протокол заседания № 209/777 от 29 мая 2018 г.

Начальник НПК 9 АО «НПП «Исток» им. Шокина», к.т.н.



Налогин Алексей Григорьевич

141190, г. Фрязино, Вокзальная ул., д. 2а, корпус 1, ком. 65, этаж 2.

Телефон: +7 (495) 465-86-15

E-mail: [agnalogin@istokmw.ru](mailto:agnalogin@istokmw.ru)

Подпись Налогина А.Г. заверяю:

Ученый секретарь диссертационного совета Д409.001.01

АО «НПП «Исток» им. Шокина», к.т.н.



Куликова Ирина Владимировна

