ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Шаненкова Ивана Игоревича
«Плазмодинамический синтез дисперсных оксидов железа с высоким содержанием эпсилон фазы в высокоскоростной струе электроразрядной плазмы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.14.12 – Техника высоких напряжений и 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия

Развитие современной радиоэлектроники невозможно без электротехнических материалов, обладающих особыми свойствами. К таким материалам относится эпсилон фаза оксида железа, которая отличается от других простых оксидов металлов наибольшими значениями коэрцитивной силы при комнатной температуре и полями магнитной кристаллографической анизотропии, что определяет положение области естественного ферромагнитного резонанса в миллиметровом диапазоне длин волн. В связи с активным продвижением радиоэлектронных средств в миллиметровый диапазон потребность в таких материалах будет нарастать.

К сожалению, получение эпсилон фазы оксида железа наталкивается на определенные трудности, связанные с несовершенством традиционной технологии синтеза, а также с большими энергозатратами, присущими этим технологиям. К тому же эпсилон фаза оксида железа может существовать только в наноразмерном состоянии и термодинамически нестабильна. Разработка новых методов синтеза ультра- и нанодисперсных материалов является перспективным направлением развития техники и технологий. В этой связи, разработка нового электрофизического метода синтеза, основанного на использовании электроразрядной железосодержащей плазмы, позволяющего не только получать данную фазу, но и управлять ее выходом за счет изменений параметров процесса, является важной и своевременной задачей. Таким образом, в диссертационном исследовании решались две **актуальные задачи:** разработка технологии синтеза электротехнического материала с уникальными свойствами и исследование его физических характеристик, определяющих, в том числе, практическое применение.

Диссертационная работа представлена на 156 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 138 наименований, содержит 14 таблиц, 61 рисунок, а также два приложения.

Во введении обоснована актуальность работы; сформулирована цель и перечислены задачи, которые следует решить для достижения цели; выделена основная идея, положенная в основу исследования; обоснована научная новизна и представлены основные положения, выносимые на защиту; дана оценка практической значимости и указаны проекты, при выполнении которых реализованы результаты работы. В этой части работы описан личный вклад соискателя, перечислены названия конференций, на которых апробировались результаты (6 конференций, все международные) и публикации (всего –15, в рецензируемых журналах из перечня ВАК – 3, индексируемые в базах данных Scopus и Web of Science – 6, две из которых имеют квартиль Q1), представлены сведения о структуре и составе диссертационной работы.

В первой главе приведены результаты аналитического обзора литературных данных по направлениям диссертационного исследования: основные известные особенности кристаллической структуры и физических свойств оксидов железа и эпсилон фазы (ε-Fe_2O_3): методы синтеза данной фазы и проблемы известных методов получения. Отдельным разделом выделены магнитные свойства ε-Fe_2O_3.

В результате анализа оценивается современное состояние вопроса, отмечаются основные проблемы и формулируется постановка задачи на исследование. Предлагается разработка системы прямого плазмодинамического синтеза (ПДС) на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя с железными электродами, генерирующего сверхзвуковые струи железосодержащей электроразрядной плазмы, истекающей в кислородсодержащую атмосферу, что позволяет получать дисперсные оксиды железа.

Во второй главе приведено подробное описание экспериментальной высоковольтной установки для реализации плазмодинамического синтеза дисперсных оксидов железа и конфигурации системы для его реализации, ключевым элементом которой является коаксиальный магнитоплазменный ускоритель с железными электродами. Описаны конструкционные и схемные решения, использованные в данной работе, позволяющие варьировать содержание эпсилон фазы оксида железа в составе гетерофазных продуктов синтеза, предложен способ их фракционного разделения. В этом же разделе описаны методики оценки влияния параметров системы ПДС на характеристики синтезируемых продуктов, сепарации дисперсных продуктов ПДС, подготовки образцов для измерения электромагнитных характеристик, фазового состава и кристаллической структуры, морфологии объектов, температурной стабильности.

В третьей главе приведены результаты исследований, направленные на увеличение выхода эпсилон фазы оксида железа в составе конечных продуктов синтеза. Для этого рассмотрено влияние энергетических параметров системы, определяемых зарядным напряжением и электроемкостью накопителя энергии, питающего ускоритель, и параметров газообразной среды, в которую осуществляется истечение плазменной струи. На основе анализа полученных данных предложены схемные и конструкционные решения, а также рассмотрены различные режимы работы системы, позволяющие увеличить выход эпсилон фазы оксида железа вплоть до ~90 масс. %. С использованием современных аналитических методик однозначно подтверждена принципиальная возможность синтеза данного материала в разработанной системе, а также предложены модельные механизмы формирования основных характерных частиц и способ для их фракционного разделения.

Четвертая глава посвящена исследованию температурной стабильности фазового состава и эволюции структуры основных характерных частиц продуктов плазмодинамического синтеза.

В пятой главе подробно изучены радиопоглощающие свойства основных кристаллических фаз (магнетит и ε-Fe_2O_3), синтезируемых при реализации

процесса плазмодинамического синтеза. Установлено, что эпоксидные компаунды, наполненные порошками с максимальным содержанием фазы магнетита, присутствующего в виде полых сферических объектов, эффективно поглощают электромагнитное излучение в сантиметровом диапазоне длин волн на частотах от ~ 4 до 16 ГГц. При этом от размера этих полых сфер зависит положение максимума поглощения на частотной оси, что достаточно подробно описано автором в теоретической части. Эпсилон фаза оксида железа характеризуется поглощением электромагнитного излучения на частотах свыше 100 ГГц с максимумом на 130 ГГц.

В заключении сформулированы главные результаты диссертационной работы, подтверждающие успешное решение всех поставленных задач и достижение цели работы.

Научная новизна результатов диссертации определяется тем, что в ходе выполнения исследований:

1. разработан метод прямого плазмодинамического синтеза дисперсных оксидов железа на основе импульсного сильноточного высоковольтного коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа с железными электродами, обеспечивающий преимущественное получение нанокристаллической фазы ε-Fe_2O_3 в составе гетерофазного продукта;
2. разработаны схемные и конструкционные решения и установлены основные закономерности влияния режимных и энергетических параметров импульсного электропитания КМПУ на фазовый и гранулометрический состав оксидов железа плазмодинамического синтеза;
3. определены условия и предложены модельные механизмы образования нанодисперсной фазы ε-Fe_2O_3 и микронной фазы магнетита Fe_3O_4 в виде полых сферических частиц в процессе истечения высокоскоростной струи железосодержащей плазмы в газообразную смесевую атмосферу O_2+Ar с различным содержанием кислорода;
4. получен новый электротехнический материал, эффективно взаимодействующий с электромагнитным излучением микроволнового диапазона.

Степень обоснованности научных положении и выводов диссертации

Обоснованность научных положений диссертационной работы подтверждается привлечением большого числа научных публикаций по теме диссертационного исследования, как отечественных, так и зарубежных авторов,

Представленный объем материала, его качество, предложенные методы решения задач являются достаточными для достижения цели.

Основные положения, выносимые диссертантом для публичной защиты, прошли успешную апробацию в рамках научных конференций российского и международного уровней.

Достоверность результатов диссертационной работы основывается на применении физически обоснованных экспериментальных методик, современных аналитических методик и высокоточного оборудования.

Практическая ценность результатов диссертационной работы определяется несколькими позициями. Во-первых, разработанный метод

позволяет получать различные фазы оксида железа, включая уникальную эпсилон фазу, и управлять их соотношением в конечном продукте за счет изменения параметров процесса. Во-вторых, получаемые магнитные материалы могут использоваться в качестве активной фазы в композиционных радиопоглощающих покрытиях, эффективно работающих на металлических поверхностях. В-третьих, что особенно важно подчеркнуть, получаемые магнитные материалы обладают малым весом.

Соответствие содержания диссертации и автореферата паспортам научных специальностей

Содержание диссертации и автореферата соответствует паспортам научных специальностей:

05.14.12 – Техника высоких напряжений

п. 4: Разработка научных основ техники использования высоких напряжений для технологических процессов, разработка оборудования для технологий, использующих высокое напряжение;

05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия

п. 1: Изучение на стадиях разработки, исследования, изготовления, эксплуатации и утилизации физико-химических процессов, определяющих свойства электротехнических и радиотехнических материалов и изделий в связи с их химическим составом, структурой и внешними условиями эксплуатации с целью обеспечения их высокого качества;

п. 2: Оптимизация параметров электротехнических, радиотехнических материалов и изделий, технологии их производства, эксплуатации и утилизации.

Текст автореферата и текст диссертации написаны грамотно. Содержание автореферата отражает основные моменты диссертации.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе приведены спектры электромагнитного отклика только для двух толщин образцов (2 и 0,5 мм) при одной концентрации активной фазы (50%), хотя известно, что эффективность взаимодействия с электромагнитным излучением существенно зависит от этих величин и возможны другие более интересные результаты с практической точки зрения.

2. Автором допущена неточность при определении первенства полученного материала, как наиболее высокочастотного среди других магнетиков (стр. 23). Однако это не так. В доказательство привожу цитату: «Гексаферриты как материалы для сверхвысокочастотного диапазона (EHF), диапазоны Ka (27–40 ГГц), U (40–60 ГГц), V (60–80 ГГц), W (80–100 ГГц) и выше, были изучены и применены в России с середины 1950-х годов» [Advances in Ceramics – Electric and Magnetic Ceramics, Bioceramics, Ceramics and Environment. – 2011. – P. 4. – C. 64–86. – DOI: 10.5772/18270].

3. В таблице 4.1. для намагниченности использована неизвестная единица «Эм. ед./г).

4. На рисунке 4.2. использованы сечения под номерами 1–7, а в тексте эти сечения называются точками. В районе температуры 230 градусов на кривых ДГТ наблюдается локальный минимум, а в тексте утверждается, что в этой области ДГТ максимально.

5. На рисунках 2.1, 2.2, 2.6, 2.7 разрезы показаны не по правилам оформления чертежей (ГОСТ 2.305-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Изображения – виды, разрезы, сечения).

6. На рисунках 2.1, 2.6, 2.7 измеряемая величина обозначается U(t), а в тексте та же величина обозначена u(t).

Заключение

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости результатов диссертации. Следует отметить ключевой вклад автора в полученные результаты.

Основываясь на вышеизложенном, считаю, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Диссертационная работа «Плазмодинамический синтез дисперсных оксидов железа с высоким содержанием эпсилон фазы в высокоскоростной струе электроразрядной плазмы» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук п.п. 9–11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01 октября 2018 г.), а ее автор, Шаненков Иван Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.14.12 – Техника высоких напряжений и 05.09.02 –Электротехнические материалы и изделия.

Официальный оппонент
доцент кафедры радиоэлектроники
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский государственный университет»,
кандидат физико-математических наук
(01.04.03 – Радиофизика),
доцент

Сусляев Валентин Иванович
(3822) 529-672
susl@mail.tsu.ru

16 ноября 2018 г.

ряю
льника
ти
М.Б. Удалова

Сведения об организации:

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 3
Телефон: (3822) 52-98-52
E-mail: rector@tsu.ru
Адрес официального сайта: www.tsu.ru