

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Направление подготовки/профиль 13.06.01 Электро- и теплотехника/Техника высоких напряжений

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
Плазмодинамический синтез уникальной эpsilon фазы оксида железа

УДК 661.872'02.091.3:533.95

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A4-45	Шаненков Иван Игоревич		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ ИШНПТ	Юдин А.С.	к.т.н.		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Ю.Н.	к.т.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОЭЭ ИШЭ	Сивков А.А.	д.т.н., с.н.с.		

Оксиды железа являются одними из наиболее распространенных химических соединений, которые применяются при изготовлении различных технических изделий на протяжении многих веков. Несмотря на этот факт, они до сих пор привлекают значительное внимание множества научных коллективов по всему миру из-за уникального набора физических характеристик, которые значительно меняются при изменении стехиометрии. Например, магнетит Fe_3O_4 известен своими отличными магнитными свойствами, благодаря чему находит применение как при производстве электротехнических изделий, так и в медицине, где используется в качестве контраста для магнитно-резонансной томографии. Гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, напротив, является антиферромагнетиком, однако его порошок применяют при изготовлении красителей и даже в качестве катализатора реакции получения водорода из воды. Помимо названных модификаций оксида железа известно еще 5 негидратированных кристаллических фаз этой системы: оксид железа (II) FeO ; маггемит $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$; $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\delta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

В последнее время именно эpsilon фаза оксида железа исследуется наиболее активно, что связано с рядом её уникальных особенностей: самой большой коэрцитивной силой среди простых оксидов металлов (~28 кЭ); ферромагнитным резонансом на частотах свыше 100 ГГц; сочетанием магнитных и диэлектрических свойств. Тем не менее, основной трудностью связанной с синтезом данной фазы, является то, что она может быть получена только в наноразмерном состоянии при размере частиц менее 100 нм и является термодинамически нестабильной. Это ограничивает применение большинства известных методов, из которых чистоту выхода $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ более 50 % масс обеспечивает только золь-гель метод. Однако продолжительность процесса, которая может составлять до нескольких суток, и значительная стоимость исходных прекурсоров ограничивают повсеместное применение этого метода.

Известен ряд работ, где показано, что электрофизические методы с применением разрядных технологий и, в частности, плазмодинамический

метод позволяют синтезировать порошки оксида железа, в составе которых идентифицируется присутствие $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Главными преимуществами плазмодинамического метода является высокое быстродействие (длительность процесса синтеза менее 1 мс), низкая стоимость прекурсоров и возможность получения наноразмерных объектов за счет высокой скорости кристаллизации материалов. Это обуславливает интерес к разработке и оптимизации данного метода с целью получения высокой чистоты выхода $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

В данном исследовании с использованием системы плазмодинамического синтеза, основанной на коаксиальном магнитоплазменном ускорителе со стальными электродами, получены дисперсные оксиды железа. Определены основные закономерности процесса синтеза, позволяющие влиять на фазовый состав получаемых продуктов. Установлены энергетические и конструкционные параметры системы, позволяющие синтезировать порошки оксида железа с преимущественным содержанием (более 50 % масс) либо фазы магнетита Fe_3O_4 либо эписилон фазы оксида железа $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Предложены схемные и конструктивные решения, физическая реализация которых позволила достичь выхода $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ до 90%, что недостижимо ни одним другим способом кроме золь-гель метода.

С использованием современных аналитических методик, таких как методы рентгеновской дифрактометрии, мёссбауэровской спектроскопии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, установлено, что порошки оксидов железа, полученные плазмодинамическим методом, отличаются гетерофазным составом ($\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и Fe_3O_4) и наличием характерных частиц для каждой из присутствующих кристаллических фаз. Причем эписилон фазе соответствуют монокристаллические сфероподобные частиц с размерами менее 100 нм, а магнетиту полые сферические объекты с размерами от единиц до сотен микрометров.

Синтезированные продукты с преимущественным содержанием Fe_3O_4 или $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ исследованы для определения абсорбционной способности поглощения электромагнитного излучения. Установлено, что полые сферические частицы магнетита обладают шириной зоны эффективного поглощения шириной более 10 ГГц в диапазоне частот от 4 до 11 ГГц, а от размера этих частиц зависит положения максимума поглощения на частотной оси. Эпсилон фаза оксида железа, полученная плазмодинамическим методом, имеет максимум поглощения на частоте около 130 ГГц, что позволяет использовать ее при изготовлении радиопоглощающих покрытий, работающих в миллиметровом диапазоне длин волн.