

4. Nolan N. T. Sol-Gel Synthesis and Characterisation of Novel Metal Oxide Nanomaterials for Photocatalytic Applications. – 2010.
5. Djuricic A. B. et al. ZnO nanostructures: growth, properties and applications // Journal of Materials Chemistry. – 2012. – Т. 22. – №. 14. – С. 6526-6535.
6. Sivkov A. et al. Plasma dynamic synthesis and obtaining ultradispersed zinc oxide with single-crystalline particle structure // Advanced Powder Technology. – 2016. – Т. 27. – №. 4. – С. 1506-1513.
7. Shanenkov I.I., Pak A.Ya., Sivkov A.A., Shanenkova Yu.L. Energy efficiency of electric pulse installation based on a high-current plasma accelerator // MATEC Web of Conferences. – 2014. – Vol. 19. – art. no. 01030
8. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6 с.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., профессор каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ОЦЕНКА АБСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПОРОШКА ОКСИДА ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

М.И. Гуков, И.И. Шаненков, А.И. Циммерман
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5А4Д

Введение

Электромагнитные волны гигагерцового диапазона широко распространены в системах беспроводной связи, компьютерах и различном электронном оборудовании. Тем не менее, проблемы электромагнитной совместимости серьезно ограничивают их дальнейшее развитие [1,2]. Согласно теории потерь электромагнитных волн, возможным способом решения таких проблем является разработка высокоэффективных поглощающих материалов. Большое внимание привлекают материалы на основе ферритов, отличающиеся высокими электромагнитными потерями [3,4]. Известно, что величина магнитной проницаемости пропорциональна значению намагниченности насыщения (НН), поэтому магнетит со структурой шпинели, обладающий максимальным значением НН среди ферритов при комнатной температуре и высоким значением температуры Кюри, можно рассматривать как один из наиболее перспективных материалов для разработки радиопоглощающих материалов и покрытий. Известно, что ферритовые поглотители, могут иметь хорошие абсорбционные характеристики для поглощения микроволнового излучения [5]. В этом исследовании порошок оксида железа с преимущественным содержанием магнетита Fe_3O_4 был успешно изготовлен методом плазмодинамического синтеза. Данный метод обладает следующими преимуществами: высокая скорость протекания реакции, низкие энергозатраты, высокие достигаемые энергетические параметры в процессе

синтеза и высокая скорость охлаждения, в системе на основе импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) [6], разработанного в НИ ТПУ.

Синтез порошка и его обработка

Система, используемая для синтеза порошка с высоким содержанием магнетита, включает в себя емкостной накопитель энергии, КМПУ, камеру-реактор, газовую среду. Энергетические параметры, которыми обладает емкостной накопитель, следующие: $U_{зар}$ до 5 кВ, а $C_{зар}$ до 28,8 мФ [7]. Состав КМПУ: Z-пинч ускоритель с железными электродами и внешняя индуктивная система.

Принцип работы системы заключается в следующем. После замыкания силовых ключей в цепи разряда накопителя происходит рост межэлектродного напряжения, происходит пробой промежутка между железными электродами и образование дугового разряда. Под влиянием собственного и внешнего магнитных полей плазменный разряд ускоряется силами кондукционной и индукционной электродинамики. Необходимый материал нарабатывается с поверхности железного ускорительного канала и вовлекается в движение плазмы, а затем выносится в пространство камеры-реактора. Динамический синтез происходит в скачке уплотнения головной ударной волны, в который поступает эродированный материал (железо) и встречно диффундирует газ среды камеры-реактора (кислород). Формирование кристаллической структуры и диспергирование синтезированного материала происходит при его распылении с границы ударной волны. Высокая скорость охлаждения, порядка 10^8 К/с, осуществляется за счет взаимодействия синтезированного материала с атмосферой камеры-реактора.

Для реализации эксперимента по получению порошка с высоким содержанием частиц фазы Fe_3O_4 с использованием газообразного прекурсора были выбраны следующие энергетические параметры: $U_{зар} = 2,5$ кВ, $C_{зар} = 14,4$ мФ. Газообразный прекурсор (кислород) закачивался в предварительно вакуумированную камеру-реактор (1 атм.). Выход продукта при отмеченных выше условиях составил около 5 г за один рабочий цикл, продолжительность которого составила около 500 мкс.

Синтезированный порошкообразный продукт был исследован методом рентгеновской дифрактометрии на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000S. Из рентгеновской дифрактограммы полученного продукта (рисунок 1а) видно, что продукт является многофазным и состоит из трех фаз (Fe_3O_4 , $\alpha-Fe_2O_3$ и $\epsilon-Fe_2O_3$), из которых наибольшими интенсивностями пиков обладают фазы магнетита и гематита ($\alpha-Fe_2O_3$), а интенсивность рефлексов эпсилон фазы является достаточно низкой.

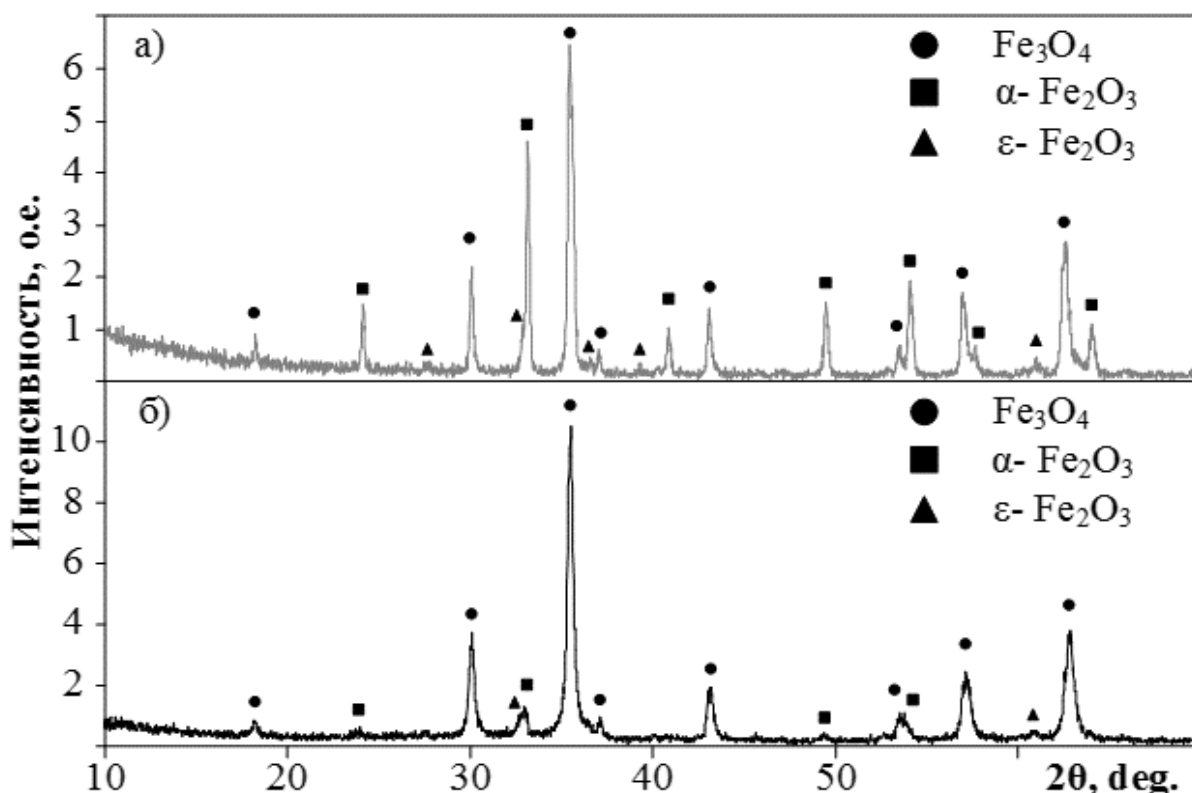


Рис. 1. Рентгеновские диффрактограммы полученного порошка до (а) и после (б) предварительной обработки

С целью получения наиболее чистого продукта (с точки зрения выхода магнетита), синтезированный порошок дополнительно очищали от примесных фаз. Принцип очистки основывался на разностных магнитных свойствах различных фаз оксида железа в синтезированном продукте. Поэтому синтезированный порошок в форме суспензии с пропанолом сначала помещали в ультразвуковую ванночку Ultrasonic Cleaner 50 Вт и подвергали ультразвуковому диспергированию на протяжении 30 минут. Затем суспензию со взвешенными частицами декантировали через стеклянный сосуд, помещенный внутри тороидального постоянного магнита на основе соединения NdFeB. Частицы, обладающие наивысшей намагниченностью (частицы фазы магнетита), оседали на стенках сосуда. Повторяя процесс декантации несколько раз, просеивание магнитных частиц продолжалось до полного разделения. Сбор порошка производился со стенок сосуда в отсутствие магнитного поля. Затем собранный порошок был повторно исследован методом рентгеновской дифрактометрии. Сравнение рентгеновских диффрактограмм полученного порошка без предварительной обработки (а) и порошка, прошедшего вышеописанную процедуру (б) (рисунок 1б), показало, что проведенная процедура над порошком привела к существенному снижению интенсивности рефлексов эпсилон и альфа фаз. Эти данные подтверждаются результатами оценки количественно-фазового состава, которая проводилась с помощью полученных рентгеновских диффрактограмм в программной среде «PowderCell 2.4» с использованием базы данных PDF 2+. Приблизительное процентное содержание фаз в порошках: а) Fe_3O_4 – 60,2%, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 19,6%, $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 20,2% и б) Fe_3O_4 – 80,6%, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 16,2%, $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 3,2%.

Изготовление образца и оценка его абсорбционной способности

Для исследования зависимости потерь на отражение электромагнитных волн от их частот обработанный порошок помещали в эпоксидное соединение в пропорции 1:1 по массе с эпоксидной смолой и выдерживали сутки до полного затвердевания. Затем полученный образец был помещен в коаксиальный волновод, а также был подвергнут облучению электромагнитными волнами различного диапазона частот (0,1 – 18 ГГц). Значения потерь на отражение измерялись с использованием анализатора СВЧ-сигналов Agilent N5247A. Далее по полученным значениям строился график (рисунок 2), из которого видно, что образец обладает хорошей абсорбционной способностью с эффективной полосой поглощения (потери на отражение ≤ -10 дБ) в диапазоне частот от 3,7 до 15,6 ГГц, а наибольших потерь на отражение (-36,2 дБ) образец достигает при частоте электромагнитных волн 8,2 ГГц.

Заключение

Согласно результатам проведенных исследований, можно сделать вывод, что образец, изготовленный на основе обработанного порошка с высоким содержанием фазы магнетита (порядка 80%), синтезированного плазмодинамическим методом в системе на базе КМПУ, обладает достаточно высокой абсорбционной способностью с эффективной полосой поглощения (потери на отражение ≤ -10 дБ) при частоте от 3,7 до 15,6 ГГц. Наибольших потерь на отражение (-36,2 дБ) полученный образец достигает при частоте облучающих электромагнитных волн равной 8,2 ГГц.

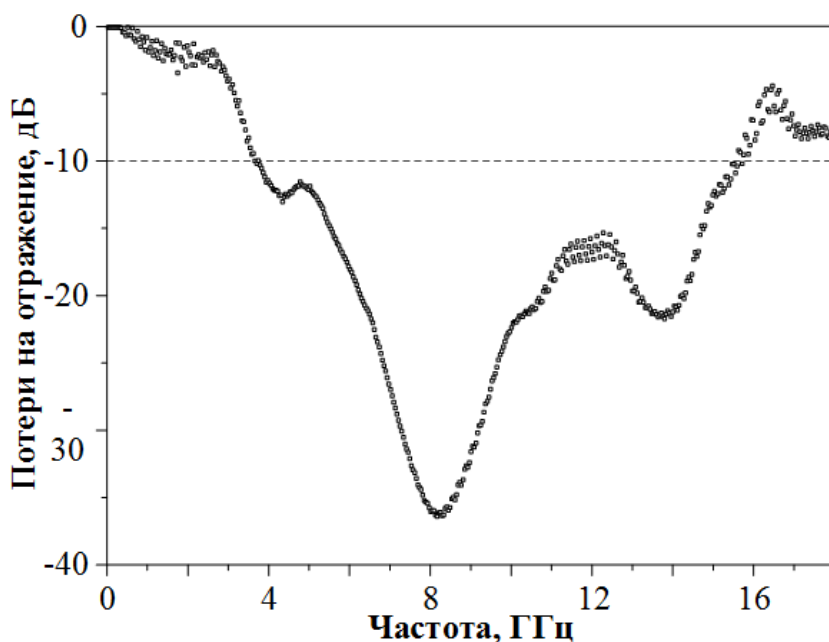


Рис. 2. График зависимости потерь на отражение электромагнитных волн от их частот

ЛИТЕРАТУРА:

1. Wang G. et al. Electromagnetic properties of carbon black and barium titanate composite materials //Journal of Alloys and Compounds. – 2008. – Vol. 454. – №. 1. – pp. 340-346.
2. Meena R. S., Bhattacharya S., Chatterjee R. Development of “tuned microwave absorbers” using U-type hexaferrite //Materials & design. – 2010. – Vol. 31. – №. 7. – pp. 3220-3226.
3. Zou Z. et al. Preparation of Fe₃O₄ particles from copper/iron ore cinder and their microwave absorption properties //Chemical Engineering Science. – 2010. – Vol. 65. – №. 1. – pp. 160-164.
4. Kurlyandskaya G. V. et al. Field-induced microwave absorption in Fe₃O₄ nanoparticles and Fe₃O₄/polyaniline composites synthesized by different methods //Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2007. – Vol. 68. – №. 8. – pp. 1527-1532.
5. Qing X. et al. Facile synthesis of size-tunable, multilevel nanoporous Fe₃O₄ microspheres for application in electromagnetic wave absorption //Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – Vol. 595. – pp. 131-137.
6. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А. Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Бюл. № 4. – 6 с.
7. Pak A. et al. Synthesis of ultrafine cubic tungsten carbide in a discharge plasma jet //International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2015. – Vol. 48. – pp. 51-55.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., профессор, каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОРОШКОВ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

И.И. Шаненков, Е.С. Хаскова
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП

Введение

Российская Федерация занимает значительную территорию 17,125,191 км², и достижение повсеместного централизованного электроснабжения является нереализуемой задачей. Автономное электроснабжение отдаленных поселков и регионов может являться альтернативой в вопросах решения проблемы обеспечения населения тепловой и электрической энергий. Автономные источники энергии, как известно, могут быть реализованы на базе возобновляемых ресурсов таких как: солнечный свет, ветер, водные потоки, приливы, геотермальная теплота и энергия, полученная путем сжигания биомасс [1]. Согласно