

## 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 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 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 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/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 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 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 км<sup>2</sup>, 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

генеральной стратегии развития энергетики, к 2035 году планируется увеличение генерирующих мощностей на базе возобновляемых источников энергии до 20 раз [2]. В связи с этим необходимо проведение поисковых исследований для определения наиболее оптимальных путей автономного электроснабжения в отдельных районах. Одним из перспективных направлений альтернативной энергетики является водородная энергетика. Возможность использования практически неисчерпаемого запаса воды и возобновляемого источника энергии солнца для получения электрической энергии, объясняет повышенный интерес к водородной энергетике.

Однако, в данном направлении существуют три основные проблемы: генерация водорода (поиск эффективных катализаторов), транспортировка и хранение (поиск высокоемких материалов) и получение энергии из водорода (топливные элементы). Поиск высокоэффективных фотокатализаторов, способных генерировать водород из воды под воздействием солнечного света является одной из основных задач научно-исследовательских групп по всему миру [3]. Среди таких каталитически активных материалов выделяются оксиды железа, получение и использование которых все так же актуально, в частности благодаря их высокой каталитической активности, химической и фотоэлектрохимической стабильности и низкой стоимости. Среди известных фаз оксида железа наиболее перспективной является гематит ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), который имеет хорошие перспективы для использования в качестве фотокатализатора из-за ширины запрещенной зоны, равной 2,3 эВ [4].

Ранее было показано, что  $\alpha$ -фазу оксида железа возможно синтезировать плазмодинамическим методом, в основе которого лежит применение коаксиального магнитоплазменного ускорителя [5]. В данной работе рассмотрены вопросы получения порошкообразного оксида железа и исследование его фотокаталитических свойств без какой-либо предварительной очистки или обработки.

### **Экспериментальная часть**

Принцип работы системы на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя был подробно рассмотрен ранее [5]. Основная идея заключается во взаимодействии железосодержащей плазмы со средой заполненной смесью, содержащей кислород и аргон в различном соотношении. Кислород является вторым необходимым прекурсором плазмохимической реакции. В ходе проведения пробной серии экспериментов основные параметры системы оставались неизменными: зарядное напряжение  $U_{\text{зар}}=3,0$  кВ, зарядная емкость  $C_{\text{зар}}=14,4$  мФ, тип газового прекурсора – кислород, давление – атмосферное. В результате проведения данных экспериментов были получены порошкообразные образцы, которые без предварительной обработки исследовались методом рентгеновской дифрактометрии на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000S. Оценка количественно-фазового состава проводилась с помощью полученных рентгеновских дифрактограмм в программной среде «PowderCell 2.4» с использованием базы данных PDF 2+.

Полученные порошки использовались для изготовления электродов при проведении фотокаталитических исследований. Процедура приготовления была следующей. В мерном стакане смешивали 0,02 г порошка оксида железа, 2 ша-

рика йода и ацетон (20-30 мл). Данную суспензию помещали в ультразвуковую ванну на 20 минут. Стекло FTO (легированный фтором оксид олова) в форме прямоугольника со сторонами 3 см × 1,5 см, которое с одной стороны имеет проводящий слой, а с другой нет, очищали в изопропиловом спирте в ультразвуковой ванне в течение 10 минут до полного удаления всех примесей. Далее на проводящий слой FTO стекла наносили порошок из суспензии путем электрофоретического осаждения по схеме указанной на рисунке 2а. Для этого использовался регулируемый источник энергии (# ATTEN TPR30105 U 0-20 V I 0-10 A). Параметры источника были следующими U = 20 В. I=0 А. Процесс осаждения продолжался приблизительно 1 мин, после чего суспензия вновь подвергалась ультразвуковой обработке в течении 1 мин, и повторно наносился слой порошка. Данная процедура повторялась 5 раз. Полученные на FTO стеклах покрытия аккуратно счищали так, чтобы получить квадрат с площадью 1 см<sup>2</sup>. После проведения данной процедуры стекла с покрытием помещали в атмосферную печь и грели до 300 °С в течение 60 мин. (скорость нагрева - 5 °С/мин), после чего выдерживали при этой температуре в течение 2 часов. Охлаждение было естественным. После того как образец был термически обработан, проводящая поверхность на FTO стекле вокруг порошка обрабатывалась специальной смазкой, которая не проводит ток. Таким образом, получался образец стекла с нанесенным порошком площадью 1 см<sup>2</sup>, который использовался для измерения фотокаталитической активности. В качестве источника света выступала ксеноновая лампа Perfect Light-SXE300С. Для регистрации фототока использовался потенциометер СИ-600Е.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена типичная дифрактограмма порошка оксида железа, полученного при указанных выше параметрах. Согласно данным рентгено-фазового анализа содержание фаз в продукте было следующим: гематит ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – 42,3%, фаза  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 31,7%, магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) – 26,6%.

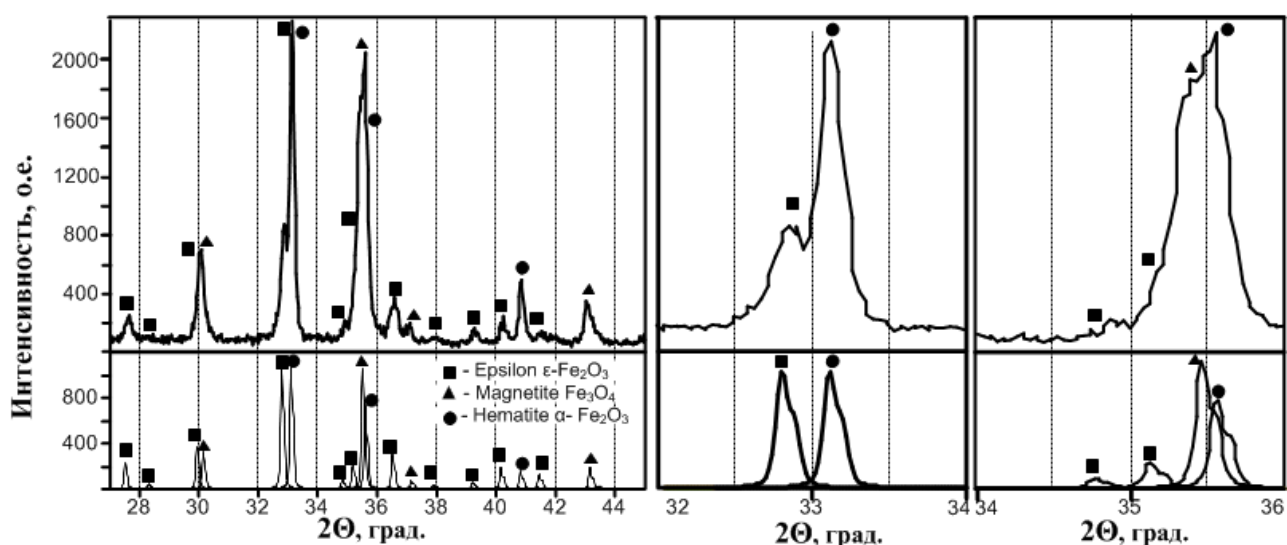


Рис. 1. Типичная дифрактограмма оксида железа, полученного плазмодинамическим синтезом

На основе полученных порошкообразных продуктов изготавливались электроды (по процедуре, описанной в экспериментальной части), которые в дальнейшем использовались для проведения исследований фотокаталитической активности образцов. Для этого применялся метод трехэлектродной ячейки, в основу которого заложено использование 3 электродов (рисунок 2б). Первый электрод – так называемый рабочий электрод (РЭ) – изготавливается по указанной выше процедуре. В качестве эталонного электрода (ЭЭ) выступал электрод Ag/AgCl. Платиновая пластина использовалась в качестве противоиэлектрода (ПЭ). Процедура измерения фотокаталитической активности проводилась в одномольном растворе серной кислоты.

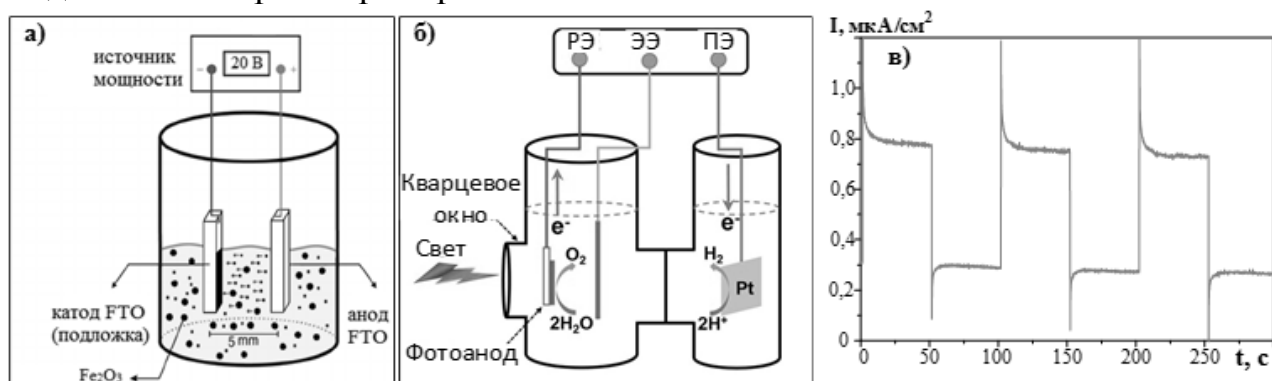


Рис. 2. Схема процесса подготовки электродов (а), процедуры измерения каталитических свойств (б) и полученные результаты для оксида железа (в)

Свет, поступающий от источника через кварцевое окно, попадая на слой, содержащий оксид железа, вызывал начало протекания реакции, в ходе которой происходило выделение кислорода на рабочем электроде и выделение водорода на платиновом противоиэлектроде. Все это сопровождалось увеличением рабочего тока, вызываемым высвобождением свободных электронов и их циркуляции в цепи потенциостата. По величине данного тока можно судить о том, насколько интенсивно происходят реакции на электродах. Для наглядной визуализации результатов источник света открывался и закрывался с периодичностью раз в 50 секунд. Как видно из рисунка 2в, в моменты открытия, ток возрастал до величины  $\sim 1$  мкА/см<sup>2</sup>, и был примерно равен 0,25 мкА/см<sup>2</sup> в моменты закрытия затвора (так называемый «темновой» ток).

### Заключение

Ультрадисперсные порошки оксидов железа и, в частности, гематит ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) могут быть получены методом прямого плазмодинамического синтеза в системе на основе КМПУ. Синтезированные таким образом продукты были исследованы на фотокаталитическую активность методом трехэлектродной ячейки. Для этого была разработана и реализована процедура подготовки рабочего электрода, содержащего частицы порошка оксида железа. Полученные результаты позволяют утверждать, что синтезированные плазмодинамическим методом порошки оксида железа обладают фотокаталитической активностью и могут быть использованы в качестве фотокатализаторов в реакции получения водорода.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Фомичев В.К., Церегородцева И.В. - Использование оборудования, работающего на возобновляемых источниках энергии (солнца и ветре) в условиях сибирского региона // международный конгресс reenscon-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность», Сколково, 13-14 октября 2016 г. Новосибирск: изд-во ООО НПФ «Энергия», с.177-183
2. Энергетическая стратегия развития России на период до 2035 года
3. Козлова Е.А., Пармон В.Н. Гетерогенные полупроводниковые фотокатализаторы процессов получения водорода из водных растворов доноров электронов // Успехи химии. – 2017.-N 9.- С. 870-906.
4. Ahsanulhaq Qurashi , Zhonghai Zhong , Mir Wakas Alam Synthesis and photocatalytic properties of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoellipsoids // Solid State Sciences – 2010. – N12.-1516-1519.
5. Sivkov A., Naiden E., Ivashutenko A., Shanenkov I. Plasma dynamic synthesis and obtaining ultrafine powders of iron oxides with high content of  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
6. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2016. V. 405. P. 158–168.

Научный руководитель: А.С. Ивашутенко, к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИИ ТПУ.

## SPACE-BASED SOLAR POWER

A.S. Sazonov<sup>1</sup>, Y.L. Shanenkova<sup>2</sup>, I.I. Shanenkov<sup>2</sup>  
National Research Tomsk Polytechnic University<sup>1,2</sup>

Institute of Power Engineering, Department of Industrial Electric Power Supply,  
group 5A4D<sup>1</sup>

Today our community think about how to solve the energy problem. A large part of the energy sources will end in the near future, and one of the best renewable sources is a Space-based solar power. Every hour, more solar energy reaches the Earth than humans use in a year [1].

Space-based Solar Power (SBSP) collects energy from sunlight in space and transmits it over the wireless network to Earth. Potential benefits of collecting solar energy include a high rate of collection, uninterrupted supply of energy to the Earth from the orbit, where is no night [2]. In space, the amount of solar energy much more than we use today. According to scientists, that the sun's lifespan is 4-5 billion years, which gives people a long-term perspective of obtaining clean energy. This energy has some advantages and disadvantages.

Advantages of Space Solar Power are as follows:

- Unlike oil, gas, ethanol, and coal plants, SBSP does not emit greenhouse gases.