

АННОТАЦИЯ ПО ПРОЕКТУ

Государственный контракт № 14.740.11.0845 от 1 декабря 2010 г.

Тема: «Изготовление среднетемпературных твердооксидных топливных элементов с ультратонким наноструктурированным электролитом»

Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск

Ключевые слова: водородная энергетика, твердооксидный топливный элемент, тонкопленочный электролит, покрытия, магнетронное распыление, электронно-пучковая обработка

1. Цель проекта

1.1. Проект направлен на решение задачи снижения рабочей температуры твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) с 800-1000°C до 650-750°C (высокая рабочая температура является основным недостатком ТОТЭ) и изготовление экспериментальных образцов как единичных топливных ячеек, так и батареи твердооксидных топливных элементов, работающих при пониженной температуре. Снижение рабочей температуры ТОТЭ позволяет использовать более дешевые конструкционные материалы и упрощает конструкцию ТОТЭ, увеличивает срок службы вследствие снижения деградиационных процессов, повышает эксплуатационную привлекательность. Решение этой задачи является неизбежным условием для создания коммерческих энергоустановок на основе топливных элементов, конкурентоспособных и привлекательных для широкомасштабного применения.

1.2. Целью данного проекта является разработка технологии изготовления планарных твердооксидных топливных элементов с несущим анодом или биполярной металлической пластиной, в которой формирование тонкопленочного (толщиной 2-5 мкм) газонепроницаемого $ZrO_2:Y_2O_3$ (YSZ) электролита осуществляется ионно-плазменными методами (методом магнетронного распыления и электронно-пучковой обработки). Уменьшение толщины электролита до субмикронных значений позволяет значительно снизить омические потери в топливном элементе и, тем самым, получать те же значения плотности мощности (~ 0.5 Вт/см²), но при меньшей на 100-200°C рабочей температуре.

2. Основные результаты проекта (этапа проекта)

1) Сформулированы положения ионно-плазменного метода изготовления среднетемпературных твердооксидных топливных элементов с тонкопленочным электролитом. Данный метод гарантирует изготовление планарных твердооксидных топливных элементов диаметром не менее 50 мм, работающих при температуре 600-700°C и генерирующих плотность мощности не менее 0.4 Вт/см². В результате изготовлены макет и экспериментальный образец топливной ячейки твердооксидного топливного элемента с тонкопленочным электролитом диаметром 20 и 50 мм. Для исследования характеристик этих топливных ячеек методами вольтамперометрии и импедансной спектроскопии разработан не имеющий аналогов в России испытательный стенд. На базе топливных ячеек ТОТЭ с несущей Ni-Al пластиной и тонкопленочным YSZ электролитом диаметром 50 мм был собран и испытан экспериментальный образец батареи твердооксидных топливных элементов с системой герметизации, нагрева, коммутации токов и газов. Кроме того на основе полученных результатов были внесены изменения в курсы «Твердооксидные топливные элементы», «Методы исследования характеристик топливных элементов», «Плазменные покрытия», входящие в образовательную программу «Физика плазмы», «Пучковые и плазменные технологии», «Водородная энергетика» Национального исследовательского Томского политехнического университета.

2) Экспериментально показано, что разработанный метод изготовления твердооксидных топливных элементов позволяет формировать на несущем аноде или

биполярной пластине из интерметаллида Ni-Al слой газонепроницаемого (газопроницаемость не более 10^{-7} - 10^{-8} моль·м⁻²·сек⁻¹·Па⁻¹) ZrO₂:Y₂O₃ электролита толщиной 2-5 мкм, с хорошей адгезией к подложке и однородностью толщины не хуже ± 5 %. При этом удельная мощность единичных топливных ячеек при рабочей температуре 700°C составляет не менее 0.4 Вт/см², а удельная мощность батареи из трех топливных ячеек составляет 0.31 Вт/см².

3) Новизна научных решений, полученных в результате выполнения проекта, заключается в том, что YSZ электролит ТОТЭ с субмикронной толщиной формировался на пористых подложках методом магнетронного распыления и электронно-пучковой обработки. Эти методы не имеют себе равных с точки зрения стабильности процесса, возможности независимого регулирования основных параметров процесса. Таким образом, структура анод - интерфейсный слой - электролит была сформирована в едином цикле вакуумного ионно-плазменного напыления. Использование такой технологии позволило полностью отказаться от достаточно длительной и энергозатратной процедуры высокотемпературного синтеза, ведущего, из-за разницы коэффициентов термического расширения (КТР), к растрескиванию керамической структуры ТОТЭ.

4) Анализ отечественной и зарубежной литературы по теме проекта показал, что характеристики изготовленных нами топливных ячеек ТОТЭ с несущим анодом и биполярной Ni-Al пластиной не уступают лучшим мировым аналогам, а метод формирования тонкопленочного электролита был использован впервые. Полученные значения удельной мощности батареи ТОТЭ (310 мВт/см² при температуре 700°C), например, превышают значения плотности мощности (64 мВт/см² при температуре 960°C) в энергоустановке 0.4-1 кВт, разработанной в Российском федеральном ядерном центре ВНИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина, г. Снежинск.

3. Назначение и область применения результатов проекта (этапа проекта)

1) Полученные результаты в дальнейшем планируется использовать при разработке и изготовлении энергоустановок малой мощности (0.4-2 кВт) для автономных систем электро- и теплоснабжения. Автономные стационарные энергоустановки могут найти широкое применение для обеспечения электроэнергией и теплом отдельных поселков, отдаленных районов, ферм, коттеджей, больниц, супермаркетов и т.д. Домашние энергетические установки малой мощности предназначены для производства электроэнергии и производства тепла и горячей воды 24 часа в сутки. Необходимость малых домашних комбинированных (электричество + тепло) установок связана с тем, что они имеют высокий КПД, малые выбросы CO₂, легко могут быть встроены в существующую инфраструктуру. Такая энергетическая установка имеет малые размеры (не больше домашнего бойлера) и может работать на любом углеводородном топливе в виде природного газа, биогаза, жидком топливе (этанол, метанол) при оборудовании специальным конвертором топлива в синтез-газ (смесь H₂, CO и CO₂).

2) Практическое внедрение полученных результатов будет заключаться в изготовлении батарей твердооксидных топливных элементов, которые являются основной частью автономных энергоустановок и предназначены для выработки электроэнергии за счет электрохимической реакции водорода с воздухом. Предполагаемые технические характеристики батареи мощностью 300 Вт:

- диапазон рабочих температур: 700 – 900⁰С,
- размер топливных ячеек: 100 мм × 100 мм,
- количество топливных ячеек в батарее: 30 шт.,
- занимаемый объем: 100 × 100 мм × 83 мм.

3) В нашей стране наиболее продвинутыми разработками в области изготовления твердооксидных топливных элементов обладают Институты электрофизики и высокотемпературной электрохимии, Екатеринбург и РФЯЦ ВНИИ ТФ, г. Снежинск. Однако они разрабатывают ТОТЭ трубчатой конструкции с несущим электролитом, в

которой легче осуществлять разделение и герметизацию газов-реагентов в отличие от планарной конструкции, но такие топливные элементы сложнее в изготовлении и работают при более высокой температуре. Поэтому развитие другого, конкурентного технологического направления – планарных топливных элементов будет повышать вероятность коммерциализации разработок в области водородной энергетики.

4) Главным социально-экономическим эффектом результатов проекта будет производство энергии экологически безопасным и экономичным способом. Традиционные методы производства энергии в двигателях внутреннего сгорания, на тепловых, атомных и гидроэлектростанциях сопряжены с серьезными экологическими проблемами. В результате химических процессов горения топлива в парогенераторах электростанций и двигателях внутреннего сгорания происходят выбросы вредных компонентов в окружающую среду. Кроме того, производство электроэнергии традиционными способами проходит через несколько последовательных ступеней и характеризуется невысоким КПД ~20-40%. Электрохимический способ прямого преобразования энергии топлива, осуществляемый в топливных элементах, практически лишен указанных недостатков. В топливных элементах энергия топлива (водорода, природного газа, бензина и т.п.) превращается в электрическую непосредственно, исключая стадию горения, поэтому к.п.д. может принимать более высокие значения, достигая ~70-90%.

5) Коммерциализация полученных результатов на данном этапе исследований не предусмотрена. Однако в будущем планируется довести до стадии коммерциализация энергоустановки базе твердооксидных топливных элементов.

6) По оценке компании ЗАО «Энерго-эффективность» (резидент Фонда «Сколково»), занимающейся разработкой нового типа электростанций малой мощности на основе топливных элементов потенциальный спрос на мини-электростанции для постоянного электроснабжения, только в России может достигнуть \$8 млрд. к 2020 году. Емкость же мирового базового рынка стационарных мини-электростанций уже составляет около \$50 млрд. и продолжает расти на 20% в год.

4. Достижения молодых исследователей – участников Проекта (этапа проекта)

В проекте принимали участие молодые исследователи Соловьев Андрей Александрович (к.т.н., научный сотрудник) и Ионов Игорь Вячеславович. При их непосредственном участии удалось разработать технологию изготовления пористых Ni-Al пластин методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для использования в качестве несущей основы ТОТЭ, соответствующую мировому уровню в области материаловедения, что позволит использовать полученные результаты для изготовления ТОТЭ и энергоустановок на их основе и продолжить исследования в направлении разработки новых типов ТОТЭ.

В проекте принимали участие молодые исследователи Цыбенко Алена Олеговна (студент ТПУ) и Терентьев Дмитрий Николаевич (студент ТПУ). При их непосредственном участии удалось разработать технологию магнетронного осаждения NiO/YSZ слоев на пористые Ni-Al пластины для использования в качестве анодов ТОТЭ, соответствующую мировому уровню в области материаловедения и нанесения тонкопленочных покрытий, что позволит использовать полученные результаты для изготовления ТОТЭ и энергоустановок на их основе и продолжить исследования в направлении разработки новых типов ТОТЭ. Цыбенко А.О. стала победителем программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») в 2012 году.

В проекте принимали участие молодые исследователи Шипилова Анна Викторовна (младший научный сотрудник) и Ковальчук Анастасия Николаевна (аспирант). При их непосредственном участии удалось разработать технологию комбинированного осаждения тонкопленочных слоев YSZ электролита на пористые аноды ТОТЭ методом

магнетронного распыления и электронно-пучковой обработки, соответствующую мировому уровню в области материаловедения и плазменно-пучковой обработки материалов, что позволит использовать полученные результаты для изготовления ТОТЭ и энергоустановок на их основе и продолжить исследования в направлении разработки новых типов ТОТЭ.

5. Опыт закрепления молодых исследователей – участников Проекта (этапа проекта) в области науки, образования и высоких технологий

В ходе выполнения проекта были приняты на работу в Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН) три молодых специалиста – участника проекта: Пасмуров В.С. на должность инженера (дата принятия на работу - 03.12.2010), Ионов И.В. на должность инженера (дата принятия на работу - 01.10.2011), Ковальчук А.Н. на должность инженера (дата принятия на работу - 06.09.2012).

6. Перспективы развития исследований

1) Участие в ФЦП способствовало формированию следующих новых исследовательских партнерств:

1.1.) с Отделом структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН, Томск (совместные разработки по изготовлению пористых несущих пластин ТОТЭ из интерметаллида Ni-Al).

1.2.) с Международной научно-образовательной лабораторией «Технологии водородной энергетики» Томского Политехнического Университета (совместные разработки по изготовлению батарей ТОТЭ и в образовательной деятельности).

1.3.) с Инновационным центром Исландии (г. Рейкьявик) возглавляемым известным ученым Т.И. Сигфуссоном (совместные разработки по изготовлению энергоустановок на базе ТОТЭ).

1.4.) с Институтом теплофизики СО РАН, Новосибирск (совместные разработки по изготовлению конверторов метана в синтез-газ).

2) В проектах по аналогичной тематике НОЦ не участвовал.

3) Наибольшей отдачей для развития в России технологий в области водородной энергетики может способствовать сотрудничество со странами ЕЭС, в частности с Германией, Данией, Швецией и Исландией, которые достигли выдающихся результатов не только в научных разработках, но и в коммерциализации этих разработок.

7. Сведения в табличном формате:

Сведения о результатах интеллектуальной деятельности, полученных в ходе исполнения Государственного контракта	Получение результатов интеллектуальной деятельности Государственным контрактом не предусмотрено
Сведения о публикациях, выпущенных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 2 к аннотации
Сведения о диссертациях, подготовленных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 3 к аннотации
Сведения о выступлениях на конференциях, проведенных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 4 к аннотации
Сведения о внедрении результатов проекта в образовательный процесс, полученных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 5 к аннотации

Сведения об исполнителях Государственного контракта	Приложение 6 к аннотации
--	--------------------------

Зам. руководителя работ по проекту,

зав. ЛПЭ ИСЭ СО РАН,

_____ Сочугов Н. С.

Руководитель организации-исполнителя:

Заместитель директора ИСЭ СО РАН

_____ Турчановский И. Ю.

_____ 2012 г.

М.П.