

УДК: 621.352.3; 621.35.044

Вэн<sup>1</sup> Д., профессор, Барайшук<sup>2</sup> С.М., к.ф.-м.н., доцент

<sup>1</sup>Северо-Западный политехнический университет,

Сиань, Шэньси, КНР

<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет,

г. Минск

## **МИНИАТЮРНЫЕ БИОТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ АЭРОГЕЛЕЙ ДЛЯ САМОПИТАЕМЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ**

Развитие носимой электроники требует компактных и эффективных источников энергии. Биотопливные элементы (БТЭ), преобразующие химическую энергию биологических топлив в электричество, представляют перспективное решение для питания портативных сенсоров. В работе представлены высокоактивные электрокатализаторы на основе трехмерных пористых аэрогелей благородных (Pt, Pd) и неблагородных (Ni, Fe) металлов. Контролируемая сборка наночастиц позволяет получать материалы с высокой удельной поверхностью, электропроводностью и регулируемой электронной структурой. Применение этих аэрогелей в мембрано-беспоровых БТЭ позволило создать миниатюрные источники энергии для носимых платформ мониторинга биомаркеров, реализовав концепцию самопитаемого сенсоринга.

Создание автономных носимых устройств для мониторинга здоровья обуславливает потребность в миниатюрных источниках питания. Биотопливные элементы (БТЭ), способные генерировать электричество из биологических топлив (глюкоза, лактат), являются идеальным решением [1]. Ключевым фактором их эффективности являются электрокатализаторы. Трехмерные металлические аэрогели объединяют преимущества наноматериалов (высокая активность) и макроскопических структур (легкость интеграции в устройства) [2]. В данной работе мы представляем стратегию синтеза би- и триметаллических аэрогелей и их применение в высокоэффективных БТЭ, включая интеграцию в носимые системы. Актуальность подобных разработок подтверждается попыткой выполнить интегральные биогазовые ИК сенсоры питаемые БТЭ [3].

Экспериментальная часть. Аэрогели синтезировали методом контролируемой самоорганизации наночастиц с последующей сверхкритической сушкой. Состав сплавов (PtNi, Pd-CoOx) регулировали изменением молярного соотношения прекурсоров. Для модификации электронной структуры применяли легирование церием и иммобилизацию фталоцианинов. Морфологию и состав изучали с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии и рентгенофазного анализа. Электрокаталитическую активность в реакциях окисления метанола и восстановления кислорода оценивали в трехэлектродной ячейке. БТЭ собирали по мембрано-бесполовой конструкции с использованием методов мягкой MEMS.

Результаты и обсуждение. Синтезированные аэрогели продемонстрировали иерархическую трехмерную сеть из взаимосвязанных наночастиц с удельной поверхностью до 150 м<sup>2</sup>/г. Модификация поверхности ионными жидкостями и легирование CeO<sub>2</sub> позволили оптимизировать электронные свойства и повысить гидрофобность катализаторов при восстановлении кислорода [4].

Электрокаталитическая активность: Триметаллический аэрогель Pd-CoOx показал удельную активность в реакциях окисления метанола в 3.2 раза выше, чем у коммерческого Pt/C [5]. Аэрогели на основе сплавов Pt с Ni продемонстрировали повышенную активность и стабильность в ORR.

Глюкозо-воздушный БТЭ на основе Pd-аэрогеля достиг плотности мощности 1.8 мВт/см<sup>2</sup>. Метанола-воздушный БТЭ с анодом из Pd-CoOx и катодом из PtNi показал плотность мощности 45 мВт/см<sup>2</sup> [5]. Мы успешно миниатюризировали БТЭ и интегрировали их в носимый пластырь для одновременного мониторинга глюкозы в поте и генерации энергии, реализовав самопитаемую сенсорную систему [6].

Заключение.

В работе показано, что функционализированные металлические аэрогели являются высокоперспективными катализаторами для БТЭ. Направленный инжиниринг их структуры и поверхности позволяет значительно повысить активность и стабильность в ключевых электрокаталитических реакциях. Созданные на их основе ми-

ниатюрные БТЭ продемонстрировали высокую удельную мощность и были успешно применены в качестве источников питания для носимых сенсоров, открывая путь к полностью автономным биомедицинским устройствам.

Работа частично выполнена при поддержке гранта министерства образования 20211250 и гранта города Сиань «Пояс и путь»

#### **Список использованных источников**

1. Wen, D., Eychmüller, A. Enzymatic Biofuel Cells on Porous Nanostructures. *Small* 2016.
2. Wen, D., et al. Gold Aerogels: Three-Dimensional Assembly of Nanoparticles and Their Use as Electrocatalytic Interfaces. *ACS Nano* 2016.
3. Исследование структур покрытия на основе Мо/кремниевой подложки для тонкопленочных ИК-излучателей /СМ Барайшук [и др.] //Ученые записки физического факультета Московского университета. œ Москва: МГУ им. МВ Ломоносова. – 2024. – С. 2410601-1.
4. Yuan, H., et al. Surface Hydrophobicity Engineering of Pt-Based Noble Metal Aerogels by Ionic Liquids toward Enhanced Electrocatalytic Oxygen Reduction. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2023.
5. Yao, B., et al. Pd-CoOx Nanocomposite Aerogels for Highly Efficient Methanol and Ethanol Oxidation. *Appl. Surf. Sci.* 2023.
6. Chen, Y., et al. Metal Hydrogel-Based Integrated Wearable Biofuel Cell for Self-Powered Epidural Sweat Biomarker Monitoring. *Adv. Funct. Mater.* 2024.

**УДК: 539.2: 537.9**

**Ткаченко Т.М., к.ф.-м.н., доцент,**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск*

**Митюк В.И., к.ф.-м.н., ст.н.с.**

*НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск*

#### **МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕРМОМАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ.**

**Введение.** Современная энергетики не только нуждается в альтернативных источниках энергии, но и в сбережении уже имеющейся энергии, что требует непрерывного поиска новых материалов. Один из вариантов снижения энергозатрат – контроль