

Ю.О. Добровольский¹, Г.Н. Мазо¹, Н.В. Лысков²

¹Химический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова

²Институт проблем химической физики РАН

e-mail: burstvine@gmail.com

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОТЭ С КАТОДОМ НА ОСНОВЕ Pr₂CuO₄

В настоящее время остро стоит задача разработки и внедрения возобновляемых источников энергии, что в первую очередь связано с постоянным ростом ее потребления. Значительный интерес представляют устройства, преобразующие химическую энергию топлива в электрическую с высоким коэффициентом полезного действия. Такой принцип высокоэффективной работы выполняется при использовании твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). Однако работа таких альтернативных источников энергии осуществляется при высоких температурах (800–1000 °С), вследствие чего происходит их деградация за счет химического взаимодействия между смежными компонентами. Поэтому весьма актуальной задачей остается снижение рабочей температуры ТОТЭ до среднетемпературного интервала 500–800 °С, что позволит решить проблемы с герметизацией, снизит скорость деградации материалов и даст возможность применить более рентабельные конструкционные материалы. Однако переход к новым условиям эксплуатации требует использования новых катодных материалов с улучшенными электрохимическими свойствами [1].

Традиционными методами повышения эффективности работы катода в условиях средних температур являются оптимизация его микроструктуры за счет использования порообразователя, варьирование толщины электродного слоя и переход к композитному составу. В данной работе в качестве перспективного катодного материала ТОТЭ был рассмотрен сложный оксид

Pr_2CuO_4 (PCO). Купрат празеодима имеет высокую электропроводность (~ 100 См/см при 900 °C), термохимическую стабильность и термомеханическую совместимость (коэффициент термического расширения (КТР) = $11,8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) со стандартными твердыми электролитами GDC (КТР = $12,4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) и YSZ (КТР = $10,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) [2].

Для исследования зависимости электрохимических характеристик ТОТЭ от способа организации микроструктуры катода были приготовлены тестовые ячейки ТОТЭ электролит-несущей конструкции состава NiO-YSZ/YSZ/GDC/катод. Толщина мембраны твердого электролита YSZ составляла ~ 500 мкм. Нанесение электродных слоев на мембрану твердого электролита осуществляли методом трафаретной печати. Катодный слой формировали несколькими способами: а) добавлением в PCO рисового крахмала (10 масс.%); б) созданием композитного катода PCO-GDC (соотношение компонентов 60/40 масс.%, соответственно).

Исследование вольтамперных и мощностных характеристик единичных ячеек ТОТЭ проводили с помощью керамической измерительной ячейки ProboStat NORECS (Норвегия) в интервале температур $500\text{--}900$ °C. В качестве окислителя использовалась смесь кислорода с аргоном в соотношении 2:1, а топливом являлась смесь увлажненного водорода с аргоном в таком же соотношении.

Результаты анализа микроструктуры методом электронной микроскопии показали, что введение порообразователя в состав катодной пасты способствуют образованию развитой системы пор, а использование композитного состава обеспечивает хороший контакт между частицами и равномерное распределение пор в электродном слое, что позволило увеличить количество реакционных центров на трехфазной границе (рис. 1).

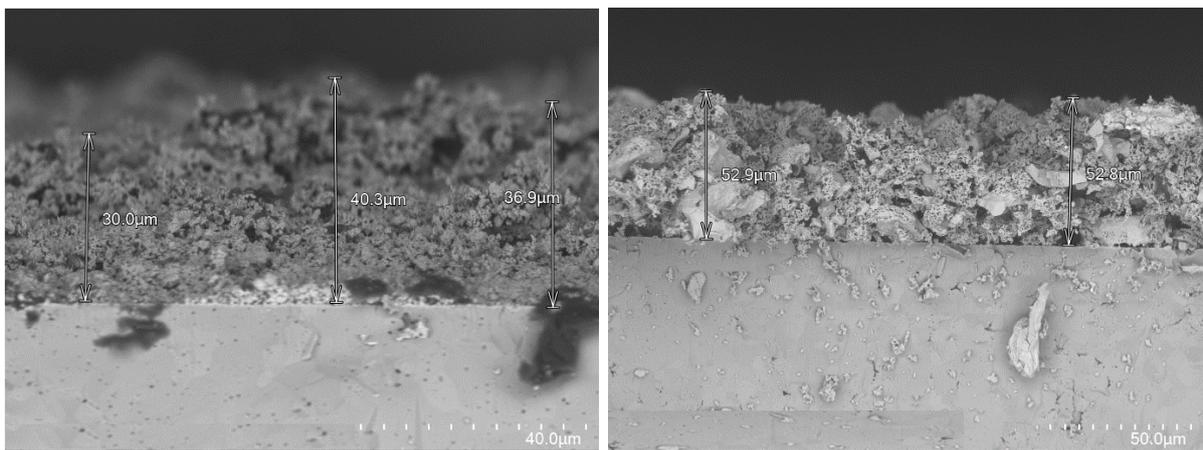


Рис. 1. Микроструктура границы катод-YSZ (поперечное сечение) для ячеек с катодом PCO, модифицированным введением порообразователя (слева), и композитным катодом PCO-GDC (справа)

Изучение электрохимических характеристик полученных топливных ячеек показало, что добавление порообразователя в электродный слой улучшает их мощностные характеристики, а использование композитного состава значительно увеличивает удельную мощность (до ~ 200 мВт/см² при 900 °С). Исследование образцов ТОТЭ методом импедансной спектроскопии при 850 °С показало, что для образца с композитным составом PCO-GDC наблюдаются наименьшие величины поляризационных потерь. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использованных методов модификации катода для улучшения эффективности работы ТОТЭ в интервале средних температур.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 20-08-00454.

Список литературы

1. Лысков Н. В., Колчина Л. М., Галин М. З., Мазо Г. Н. Оптимизация состава композитных катодных материалов на основе купрата празеодима для среднетемпературных твердооксидных топливных элементов // *Электрохимия*. – 2015. – V. 51. – P. 520–528. <http://dx.doi.org/10.7868/S0424857015050072>

2. *Kolchina L. M., Lyskov N. V., Petukhov D. I., Mazo G. N.* Electrochemical characterization of $\text{Pr}_2\text{CuO}_4\text{-Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ composite cathodes for solid oxide fuel cells // *J. of Alloys and Compounds.* – 2014. – V. 605. – P. 89–95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.03.179>