
**Электрохимическая активность
немодифицированных и инфильтрированных
электродов на основе BaFeO_3 для использования
в протонно-керамических топливных элементах***

Л. Р. Тарутина^{1,2}, А. В. Касьянова^{1,2}, Г. Н. Старостин^{1,2},
И. А. Звонарева^{1,2}, Г. К. Вдовин¹, Д. А. Медведев^{1,2}

¹ *Институт высокотемпературной электрохимии
Уральского отделения Российской академии наук*

² *Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина*

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) на основе кислородных или протонпроводящих электролитов были предложены в качестве возможного решения проблем создания экологически безопасных и высокоэффективных устройств преобразования энергии благодаря их способности преобразовывать широкий спектр топлива различной чистоты, высокой энергоэффективности и отсутствию вредных выбросов. Использование протонно-керамических топливных элементов (ПКТЭ) рассматривается как эффективный способ снизить рабочую температуру до 500–800 °С, позволяя свести к минимуму эффект от деградиационных процессов, без значительного увеличения общего сопротивления электрохимических элементов.

Сложные оксиды на основе BaFeO_3 являются перспективной альтернативой широко изученным катодам благодаря их удовлетворительной электропроводности и значениям коэффициентов термического расширения, близким к значениям популярных протонных электролитов на основе церато-цирконатов бария. Однако электрохимические характеристики материалов на основе феррита бария требуют дополнительной оптимизации, например путем модификации структуры электрода при помощи инфильтрации наночастицами электрохимически активных оксидных частиц.

* Благодарности: работа выполнена при поддержке стипендии Президента России молодым ученым и аспирантам, No СП-210.2022.1.

В настоящей работе сложные оксиды состава $\text{BaFe}_x\text{Ce}_{0,7-x}\text{Zr}_{0,2}\text{Y}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$ рассматриваются в качестве воздушных электродов ПКТЭ. Целью работы было исследование и модификация электрохимических характеристик электродов $\text{BaFe}_x\text{Ce}_{0,7-x}\text{Zr}_{0,2}\text{Y}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$ для ПКТЭ посредством внедрения наночастиц PrO_x в их структуру.

Электролит состава $\text{BaCe}_{0,5}\text{Zr}_{0,3}\text{Y}_{0,1}\text{Yb}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$ и электроды $\text{BaFe}_x\text{Ce}_{0,7-x}\text{Zr}_{0,2}\text{Y}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$ ($x = 0,5-0,7$) были получены методом цитрат-нитратного синтеза. Электролитный порошок использовали для формирования плотных электролитных пластин с целью дальнейших электрохимических исследований на симметричных ячейках состава $\text{BFCZYx}|\text{BCZYYb}|\text{BFCZYx}$. Этот же электролит был использован для получения полуэлемента состава несущий анод|функциональный анод|электролит. Воздушный электрод как на симметричных ячейках, так и на полуэлементах формировали при помощи метода аэрографии. Электроактивацию припеченных электродов проводили путем их инфильтрации спиртовым раствором нитрата празеодима. Поляризационные сопротивления электродов симметричных ячеек, так же как и электрохимические характеристики единичных ПКТЭ, были измерены методом электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС).

Результаты ЭИС для ячеек симметричной геометрии свидетельствуют о благоприятном влиянии инфильтрации на уровень поляризационного сопротивления электродов, приводя к его снижению во всем диапазоне концентраций железа. Наблюдаемое снижение поляризационного сопротивления при 750°C составляет приблизительно 93, 50 и 27 % для $x = 0,5, 0,6$ и $0,7$ соответственно. Так как $\text{BCZYF}_{0,5}$, $\text{BCZYF}_{0,6}$ и $\text{BCZYF}_{0,7}$ являются смешанными ионно-электронными проводниками, в которых ионная и электронная проводимости увеличиваются с ростом концентрации железа, можно сделать вывод, что чем ниже исходный уровень ионно-электронной проводимости материала исследуемых электродов, тем более выраженное положительное влияние оказывает инфильтрация на их поляризационные характеристики, улучшая скоростьопределяющие стадии.

Электрод с $x = 0,6$ сочетает приемлемую устойчивость поляризационных характеристик до и после электроактивации, поэтому

он был использован в качестве катода единичного ПКТЭ. Электрохимические характеристики ячейки исследовали при 550–750 °С. Максимальная достигнутая удельная мощность при температуре 700 °С составила 250 мВт · см⁻². Экспериментально полученные напряжения разомкнутой цепи (НРЦ) составляют 1,12 и 1,02 В (при 550 и 750 °С соответственно), теоретически рассчитанные НРЦ при тех же температурах составляют 1,14 и 1,11 В. Так как слой электролита единичного ПКТЭ имеет газоплотную микроструктуру, разница в этих значениях может быть объяснена за счет электронно-дырочного транспорта в электролите.

Парциальные сопротивления электрохимической ячейки ПКТЭ с модифицированным электродом были получены методом эквивалентных схем. Установлено, что омическое сопротивление определяет общее сопротивление ячейки при температурах выше 600 °С, свидетельствуя о том, что транспортные свойства электролита ограничивают производительность представленного ПКТЭ. Тем не менее отмечено увеличение мощностных характеристик единичного ПКТЭ с активированным катодом BCZYF0.6 по сравнению с ПКТЭ с неактивированным воздушным электродом того же состава. Это позволяет рассматривать описанный метод инфильтрации как простой и доступный способ улучшения электрохимических характеристик.

Кинетические закономерности реакции выделения водорода на дисилициде молибдена в растворах серной кислоты

В. В. Третьякова, В. В. Пантелеева
*Пермский государственный национальный
исследовательский университет*

Реакция выделения водорода (р. в. в.) — это электрокаталитический процесс, который имеет значительный интерес в связи с его применимостью в различных промышленных отраслях. Количество исследований, посвященных изучению тех или иных материалов