

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

в качестве катализаторов р. в. в., экспоненциально растет [1–3]. Несмотря на большой прикладной интерес к данной теме, имеется недостаточно фундаментальных исследований, цель которых дать представление о поведении перспективных электрокатализаторов. Для прогнозирования и управления процессом необходим систематический подход к изучению кинетических закономерностей р. в. в., на которые влияет ряд факторов, таких как материал электрода, его структура, состояние поверхности, природа и состав электролита и др. [4]. Данная реакция также может быть осложнена наводороживанием, гидридообразованием, поверхностной диффузией и др. К материалам, используемым в качестве катализаторов, предъявляется ряд требований: относительно низкое перенапряжение выделения водорода, хорошая химическая и электрохимическая стабильность, стойкость к действию ядов, низкая стоимость и простота их изготовления [5]. Рядом авторов было показано, что силициды переходных металлов отвечают данным условиям [6–8].

В настоящей работе приведены результаты исследования кинетических закономерностей реакции выделения водорода на MoSi_2 -электроде в растворах $x \text{ M H}_2\text{SO}_4 + (0,5 - x) \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ ($x = 0,5; 0,35; 0,2$).

Материал электрода представлен дисилицидом молибдена (MoSi_2), который получен методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза из порошковых оксида молибдена квалификации «ч. д. а.» и кремния марки КР-0 в смеси с алюминием в атмосфере аргона под давлением газа 5 МПа. Исследования проведены в растворах $x \text{ M H}_2\text{SO}_4 + (0,5 - x) \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ ($x = 0,5; 0,35; 0,2$), приготовленных на основе деионизованной воды (удельное сопротивление воды — 18,2 Мом · см, содержание органического углерода — 4 мкг/л) и реактивов H_2SO_4 и Na_2SO_4 квалификации «х. ч.».

На катодных поляризационных кривых MoSi_2 -электрода в изученных растворах наблюдается наличие тафелевского участка с наклоном, равным $\sim -0,073 \text{ В}$. Перенапряжение выделения водорода при $i = 1 \text{ А/см}^2$ составляет $\sim -0,50 \text{ В}$. Таким образом, можно заключить, что MoSi_2 в растворах серной кислоты относится к материалам с невысоким перенапряжением выделения водорода

и является перспективным для электролитического получения водорода. Спектры импеданса MoSi_2 -электрода при потенциалах тафелевской области во всех изученных растворах представляют собой емкостную полуокружность со смещенным центром, который располагается ниже оси действительной составляющей импеданса; на графике зависимости фазового угла от логарифма частоты переменного тока полуокружности соответствует несимметричный максимум. Данные полуокружности, по-видимому, состоят не менее чем из двух перекрывающихся емкостных дуг, что указывает на стадийность характера р. в. в. Из поляризационных и импедансных измерений следует, что для р. в. в. на MoSi_2 -электроде в исследованных растворах серной кислоты наблюдается выполнение механизма разряд — рекомбинация с квазиравновесной стадией разряда при логарифмической изотерме Темкина для адсорбированного атомарного водорода; процесс осложнен реакцией абсорбции атомарного водорода, протекающей в твердофазно-диффузионном режиме.

Список источников

1. *Eftekhari A.* Electrocatalysts for hydrogen evolution reaction // International Journal of Hydrogen Energy. 2017. Vol. 42, № 16. P. 11053–11077.
2. *Durovic M., Hnat J., Bouzek K.* Electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction in alkaline and neutral media. A comparative review // Journal of Power Sources. 2021. Vol. 493. P. 229708.
3. *Verma J., Goel S.* Cost-effective electrocatalysts for Hydrogen Evolution Reactions (HER): Challenges and Prospects // International Journal of Hydrogen Energy. 2022.
4. *Введенский А. В., Гуторов И. А., Морозова Н. Б.* Кинетика катодного выделения водорода на переходных металлах // Конденсированные среды и межфазные границы. Т. 12, № 4. С. 337–347.
5. *Safizadeh F., Ghali E., Houlachi G.* Electrocatalysis developments for hydrogen evolution reaction in alkaline solutions — A Review // Int. J. Hydrogen Energy. 2015. Vol. 40, № 1. P. 256–274.
6. *Vijh A. K., Belanger G., Jacques R.* Electrochemical activity of silicides of some transition metals for the hydrogen evolution reaction in acidic solutions // Int. J. Hydrogen Energy. 1990. Vol. 15, No. 11. P. 789–794.

7. Comparative study of IVB-VIB transition metal compound electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction / S. Wirth, F. Harnisch, M. Weinmann et al. // Applied Catalysis B: Environmental. 2012. Vol. 126. P. 225–230.

8. Кинетика катодного выделения водорода на сплавах системы $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Si}_2$ в щелочном электролите / В. В. Пантелеева, Г. А. Симонов, А. Б. Шеин и др. // Конденсированные среды и межфазные границы. 2022. Т. 24, № 2. С. 256–264.

Влияние обработки осадков гидроксида циркония на свойства керамики

М. И. Тюшняков, М. А. Машковцев
*Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина*

Одним из перспективных направлений решения проблем обеспечения электрической энергией потребителей в различных, в том числе и сложных условиях, являются топливные элементы (ТЭ) [1]. Топливные элементы представляют собой устройства для превращения энергии топлива в электрическую энергию и частично в теплоту без использования процесса его сжигания. Существует множество видов ТЭ, но наиболее перспективными являются твердооксидные топливные элементы. Преимущества твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) в том, что они не нуждаются в дорогом катализаторе (платине) и могут работать на многих видах топлива. В качестве электролита в ТОТЭ может применяться керамика на основе диоксида циркония.

Целью данной работы является исследование влияния промывки и гидротермальной обработки гидратированного диоксида циркония на свойства керамических изделий на основе диоксида циркония.

Порошки для прессования были синтезированы методом контролируемого двухструйного осаждения. Осаждение проводили в стеклянном реакторе при комнатной температуре при постоян-