

Планарные твердооксидные топливные элементы с металл-поддерживающим слоем и монополярной коммутацией

М.Н.Левин^{1,2}, И.С.Ерилин¹, И.Н.Бурмистров¹

¹ИФТТ РАН, 142432, г. Черноголовка, Московская обл., ул. Академика Осипьяна, д. 2

²ООО «ИНЭСИС» ГК ЭФКО, Москва, Овчинниковская набережная, д.20а

Planar Monopolar-connected Metal-Supported Solid Oxide Fuel Cells (MMS-SOFC)

M.N.Levin^{1,2}, I.S.Erilin¹, I.N.Burmistrov¹

¹*Ossipyan Institute of Solid State Physics RAS, 142432, Chernogolovka, Moscow region, Academician Ossipyan str., 2*

²*LLC "Innovative Energy Systems" (INESIS) EFKO Group of Companies, Moscow, Ovchinnikovskaya naberezhnaya, 20*

e-mail: levinmn@gmail.com

doi 10.26201/ISSP.2022/FC.6

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) с металл-поддерживающим слоем считаются третьим поколением ТОТЭ (первое поколение – ТОТЭ с несущим электролитом, работающие при 850-1000 °С, второе поколение – ТОТЭ на несущем аноде, работающие при 750-850 °С). ТОТЭ на несущей металлической основе работают при 600-650 °С (температурный диапазон сохранения эффективности внутреннего риформинга и приемлемого КПД), что обеспечивает возможность многократных циклов быстрого запуска и останова без существенной потери КПД. Ввиду того, что снижение рабочей температуры ТОТЭ позволяет расширить набор материалов для изготовления мембранно-электродных блоков (МЭБ), токосъемов и герметизации стеков, а также повысить надежность и срок службы за счет замедления процессов деградации, считается, что разработка MS-SOFC является существенным шагом к массовому производству и использованию ТОТЭ.

В докладе представлены текущие результаты разработки конструкции и технологических основ ТОТЭ с металлическими опорными слоями и монополярной коммутацией, а именно:

- конструкции ТОТЭ с несущими металлическими слоями и монополярной коммутацией;
- результаты моделирования газотранспортных процессов, электропереноса, тепловых полей и эффективности ТОТЭ на опорном металле в зависимости от конструкции и способа коммутации;
- технологии изготовления планарных пористых слоев из порошков ферритных сплавов в качестве несущих подложек для МЭБ, а также формирования анодных, электролитных и катодных слоев МЭБ на основе аэрозольного, магнетронного нанесения и трафаретной печати, соответственно;
- малоразмерный стек ТОТЭ с монополярной коммутацией, осуществленной лазерной сваркой металлических опорных слоев вне рабочей площади МЭБ.

Предложены патентоспособные конструкции ТОТЭ с опорными металлическими слоями и способы их изготовления. В качестве прототипа использованы ранее запатентованные конструкции ТОТЭ с напечатанными на 3D-принтере керамическими каркасными пластинами и монополярной коммутацией (Патент РФ2750394, 28.06.2021). Элементы конструкции, поясняющие устройство и работу ТОТЭ на планарном пористом

металле и стека с монополярной коммутацией, показаны на рис.1-2. Повторяющийся в стеке фрагмент (рис.1) содержит два металлических пористых слоя (1) со спрессованной кромкой (2), вваренные в металлические контуры (3, 5) и разделенные металлической деталью (4) с топливными каналами. Металлические детали (3,4,5) свариваются между собой и с двумя пористыми слоями (1), служащими несущими подложками для формирования МЭБ, образуя повторяющийся фрагмент стека ТОТЭ с едиными топливными каналами для двух МЭБ с обращенными друг к другу анодами, предназначенный для монополярной коммутации в стеке.

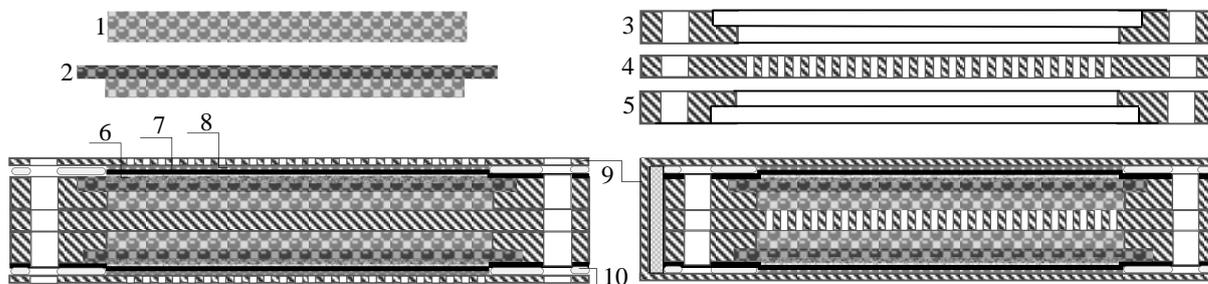


Рисунок 1 – Поперечные сечения элементов, формирующих повторяющийся фрагмент в стеке ТОТЭ с монополярной коммутацией: 1 – опорная подложка из пористого металла, 2 – спрессованный край подложки 1; 3,5 – держатели для подложек 1; 4 – металлическая деталь с топливными каналами; 6,7,8 – анод, электролит, катод МЭБ; 9 – тонкая металлическая лента для токосъема с катода с каналами для подачи воздуха; 10 – герметизирующие прокладки.

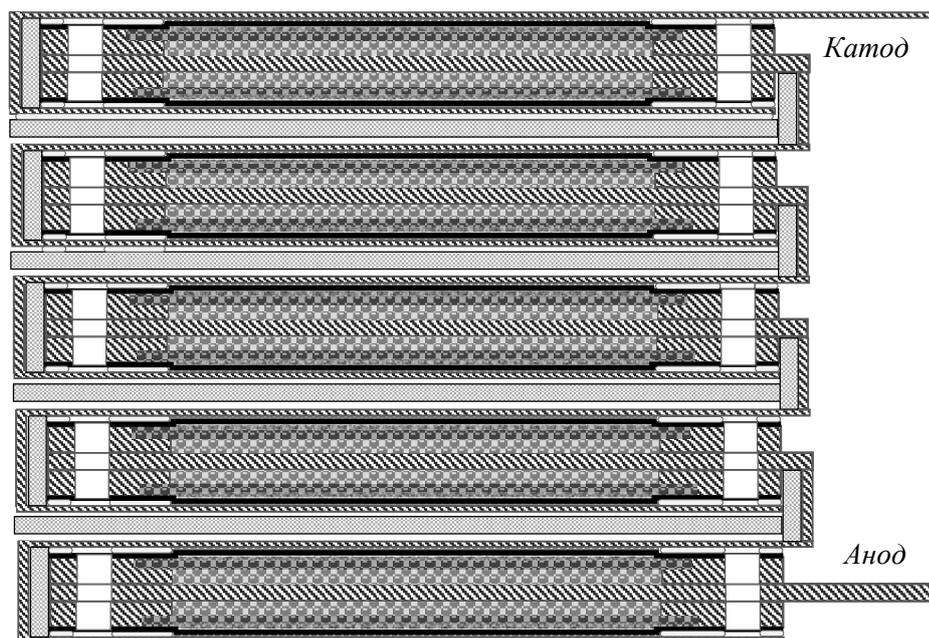


Рисунок 2 – Поперечное сечение стека ТОТЭ с МЭБ на планарных опорных подложках из пористого металла с монополярной коммутацией. Показаны сквозные вертикальные каналы для подачи топлива (водорода).

Ниже описана технология изготовления лабораторного образца МЭБ для проверки работоспособности выбранной концепции.

В качестве опорного слоя ТОТЭ на несущем металле были использованы пористые металлические диски диаметром 21 мм. Их изготавливали методом одноосного прессования из порошка металла состава X17H2 (АО Полема, Россия) с последующим отжигом в вакууме при температуре 1100 С. Полученные диски толщиной 0,5-1 мм обладают хорошо спеченной структурой при сохранении развитой магистральной

пористости (рис.3а).

На поверхность полученных подложек осаждали композиционный анодный слой состава Ni-GDC ($Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{1.95}$) методом ударного аэрозольного осаждения в вакууме (AD). Данный метод позволяет сформировать микропористую структуру с развитой трехфазной границей и хорошей адгезией как внутри слоя, так и к поверхности несущей металлической подложки (рис.3b). Стоит отметить, что формирование анодных слоев аэрозольным методом не требует нагрева подложки и использования органических связующих. Выбор пористого металла в качестве несущего слоя существенно ограничивает использование нагревов в воздушной атмосфере, поскольку приводит к образованию непроводящих окислов на его поверхности.

Для формирования электролитического слоя GDC на поверхности осажденного анода был использован метод магнетронного напыления. На рис.3с приведено SEM-изображение поверхности сформированного электролитического слоя. Полученный тонкопленочный электролит показывает высокую плотность и хорошую адгезию к композитной анодной основе (рис.3d). Наблюдаемый на начальном этапе формирования столбчатый рост пленки нивелируется при увеличении толщины напыляемого слоя более 3 мкм.

Двуслойный катод на основе LSCF ($(La_{0.6}Sr_{0.4})_{0.95}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-x}$) наносили методом трафаретной печати без предварительного спекания. Высокая взаимная адгезия осажденных слоев позволяет исключить промежуточные технологические отжиги и проводить формирование структуры электродных слоев и внутренних интерфейсов изготовленного элемента во время запуска ТОТЭ при кратковременном начальном нагреве до 900-1000 °С.

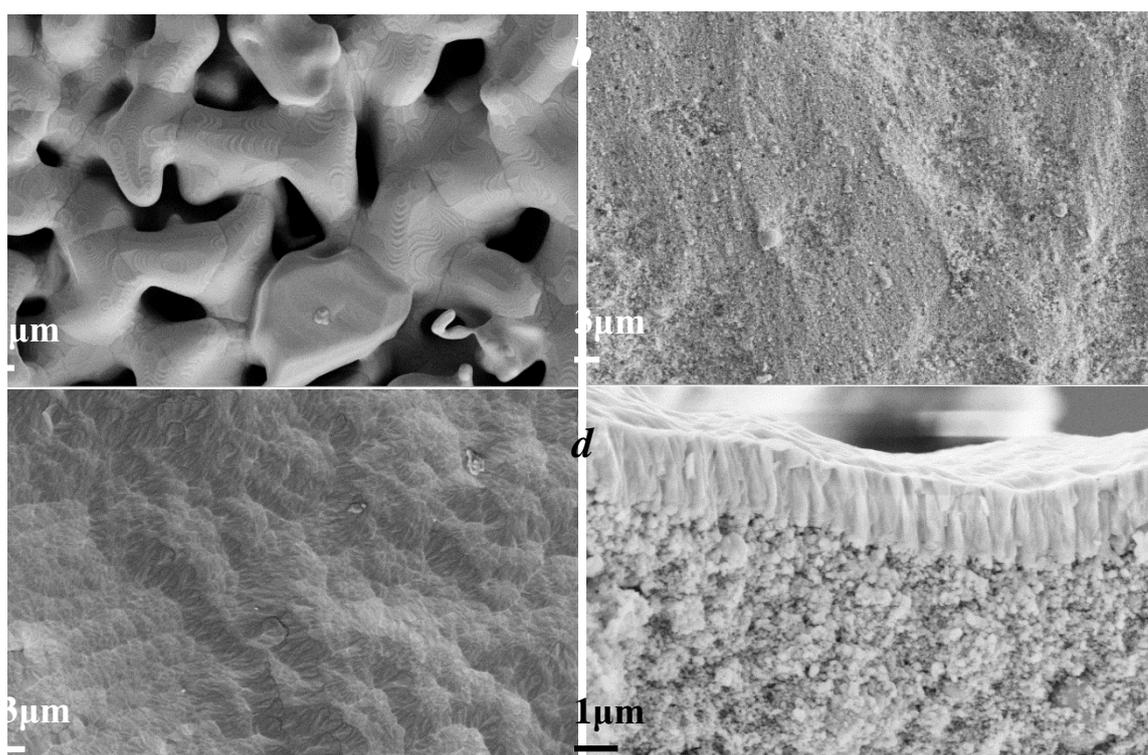


Рисунок 3 – SEM-изображение поверхностей пористой несущей подложки (a), анодного слоя, сформированного AD-методом (b), GDC-электролита (c) и поперечного сечения границы «анод | электролит» (d).