

Año 13, PCTI 216-2022-09-14

### Micro celda SOFC, dispositivo de potencia para aplicaciones portátiles en la carga de computadoras portátiles y teléfonos celulares

Ramírez-DelaCruz, A, H. A. Martínez-Rodríguez, H. Esparza-Ponce, A. Reyes-Rojas\*

Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. (CIMAV), Complejo Industrial Chihuahua, Miguel de Cervantes 120, Cd. de Chihuahua, Chihuahua, México. [armando.reyes@cimav.edu.mx](mailto:armando.reyes@cimav.edu.mx)

#### Ingenierías

#### Abstract

A micro-solid oxide fuel cell ( $\mu$ SOFC) with coplanar electrodes is presented as a promising technology due to its power density for next generation of portable-power applications. The manufacturing method combines the screen-printing and magnetron sputtering of radio frequency techniques. The device consists of an yttria-stabilized zirconia (YSZ) substrate, with a GDC/SDC (gadolinium doped cerium/samarium doped cerium, bi-layer) solid electrolyte of 170-nm.  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$  cathode and  $\text{Ni-Gd}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_3$  (60-40%wt) anode were used; both were synthesized by the sol-gel method and deposited by the screen-printing process. The micro cell was verified at  $780^\circ\text{C}$  using a mixture of methane gas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  and air varying their flow. The device can be used in laptops and cell phones.

**Keywords:**  $\mu$ SOFC; single chamber fuel cell; electric conductivity; complex impedance.

#### Resumen

Una micro celda de combustible de óxido sólido ( $\mu$ SOFC, por sus siglas en inglés) con electrodos coplanares, es presentada como una tecnología prometedora para futuras aplicaciones de energía portátil, debido a su densidad de potencia. El método de fabricación combina el proceso de serigrafía y erosión catódica de radio frecuencia. El dispositivo consiste de un sustrato de circonia estabilizada con itria (YSZ), en el cual se creó un electrolito sólido en forma de bicapas de GDC/SDC (cerio dopado con gadolinio/cerio dopado con samario) de 170 nm. Se empleó un cátodo de  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$  y un ánodo de  $\text{Ni-Gd}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_3$  (60-40%wt), ambos fueron sintetizados por el método sol-gel y depositados por serigrafía. La micro celda fue probada a  $780^\circ\text{C}$  empleando una mezcla de gas metano  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y aire, variando su flujo. El dispositivo puede emplearse en computadoras portátiles y teléfonos celulares.

**Palabras clave:**  $\mu$ SOFC; celda de combustible de cámara simple; conductividad eléctrica; impedancia compleja.

#### Problemática

La demanda de energía a través de sistemas portátiles se ha incrementado en los últimos años, particularmente por automóviles, laptops y teléfonos celulares (Shiquan-Lu et al., 2018). Los sistemas convencionales de energía portátil a base de baterías de ion-Litio y el uso de energías renovables son la principal atracción para los fabricantes. Por otro lado, es claro que las micro celdas de combustible de óxido sólido producen de 2 a 4 veces más energía que las celdas PEM y son potencialmente más amigables con el ambiente.

#### Usuarios

Estudiantes de ingeniería, organismos gubernamentales, universidades, centros de generación eléctrica privados y público en general.

#### Introducción

Las celdas de combustible de óxido sólido son sistemas electroquímicos que convierten la energía química de un combustible y oxígeno en electricidad (Li et al., 2011). En general, se componen de membranas o materiales cerámicos permeables que son conductores eléctricos (electricidad). Actualmente, la investigación en el mundo se centra

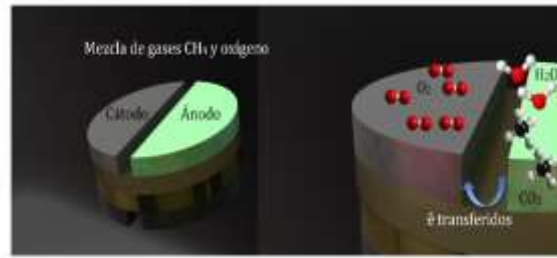


Figura 1. Dispositivo de micro celda de combustible de óxido sólido  $\mu$ SOFC.

en la conversión directa de la energía química en electricidad en un sólo paso; es decir ambos gases, oxígeno e hidrógeno son mezclados y alimentados directamente a la celda de combustible (Bedon et al., 2021). Una celda convencional es formada por el apilamiento de un ánodo, un electrolito y un cátodo, todos ellos materiales cerámicos. La celda se conforma por dos cámaras de gases, una en el ánodo con hidrógeno y otra en el cátodo conteniendo oxígeno o aire; en el sistema propuesto en esta investigación, la celda es formada por una sola cámara; por lo tanto, los electrodos ánodo y cátodo deben ser selectivos a la oxidación y reducción de los gases, respectivamente. En este sentido la tendencia ha sido a películas delgadas o recubrimientos gruesos, particularmente para electrolitos sólidos. Esta tendencia tiene como objetivo reducir la temperatura de 1000 a  $800^\circ\text{C}$  (Sengodan et al., 2015). Sin embargo, esto da como resultado un aumento de resistencia eléctrica en el electrolito y una disminución de la conductividad iónica. El electrolito es un conductor iónico sólido que conduce iones de oxígeno. El oxígeno es ionizado a alta temperatura formando iones de oxígeno, mientras que el hidrógeno es oxidado en el ánodo formando agua pura.

#### Objetivos

Evaluar un dispositivo eléctrico de celda de combustible de óxido sólido ( $\mu$ SOFC) para aplicaciones portátiles.

#### Materiales y Métodos

La celda  $\mu$ SOFC fue soportada en un sustrato de YSZ estabilizado con  $\text{Y}_2\text{O}_3$  al 8% molar y sinterizado ( $\text{Zr}_{0.92}\text{Y}_{0.08}\text{O}_2$ ) a  $1600^\circ\text{C}$  por 2h. Las películas delgadas de GDC/SDC de 170 nm fueron crecidas en el sustrato por erosión catódica de RF (radio frecuencia) a  $20^\circ\text{C}$ . El cátodo de  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$  y el ánodo de  $\text{Ni-Gd}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_3$  (60-40%wt) fueron sintetizados por el método sol-gel, depositados por serigrafía, y sinterizados a  $1050^\circ\text{C}$  por 2h (Fig. 1). El dispositivo fue probado a  $780^\circ\text{C}$  con gas metano y aire, variando el flujo de 442 a  $540\text{ cm}^3/\text{min}$  (ver figura 1). El dispositivo fue medido en un potencióstato (fuente eléctrica de cargas dinámicas) midiendo la densidad de potencia (energía producida por  $\text{cm}^2$ ) producida y sus propiedades de transporte; conductividad eléctrica y pérdidas óhmicas.

#### Resultados y Discusión

En la figura 2 se muestran los resultados de polarización eléctrica (voltaje [V] vs corriente [I]) y densidad de potencia (energía producida por  $\text{cm}^2$ ) de la celda con geometría YSZ al 8% GDC/SDC después de la reducción del ánodo y un electrolito de 170 nm de espesor. En esta celda se emplearon los electrodos de Ni-GDC y  $\text{LSM}_{0.5}\text{GDC}_{0.5}$  en el ánodo cátodo respectivamente. Las pruebas del rendimiento (producción de energía por  $\text{cm}^2$ ) de la celda fueron realizadas a una temperatura de  $780^\circ\text{C}$ , variando el flujo del aire de  $442\text{ cm}^3/\text{min}$  (en azul) a  $540\text{ cm}^3/\text{min}$  (en rojo). En la figura 2, se observa que la máxima densidad de potencia alcanzada es de  $14.04\text{ mW}/\text{cm}^2$ , una densidad de corriente (energía producida por  $\text{cm}^2$ ) de  $31.87\text{ mA}/\text{cm}^2$  y un voltaje de circuito abierto (OCV) de  $0.8\text{ V}$  usando un flujo  $442\text{ cm}^3/\text{min}$  (gráfica en rojo). En la misma figura se muestran los resultados utilizando un flujo de  $540\text{ cm}^3/\text{min}$ ; en ella se observa una densidad de potencia máxima de  $9.93\text{ mW}/\text{cm}^2$ , una densidad de corriente de  $20.52\text{ mA}/\text{cm}^2$  y una diferencia de potencial entre electrodos de  $0.84\text{ V}$ . En este caso la resistencia de área específica disminuyó a  $0.01\text{ }\Omega\text{cm}^2$  para un flujo de aire de  $442\text{ cm}^3/\text{min}$ ; por consiguiente, un incremento en la ASR (pérdidas óhmicas) de la celda con menor flujo de aire ( $0.02\text{ }\Omega\text{cm}^2$ ). La ASR se calculó a partir de la pendiente negativa en la zona lineal de la curva de polarización, y de la intensidad de la corriente alcanzada.

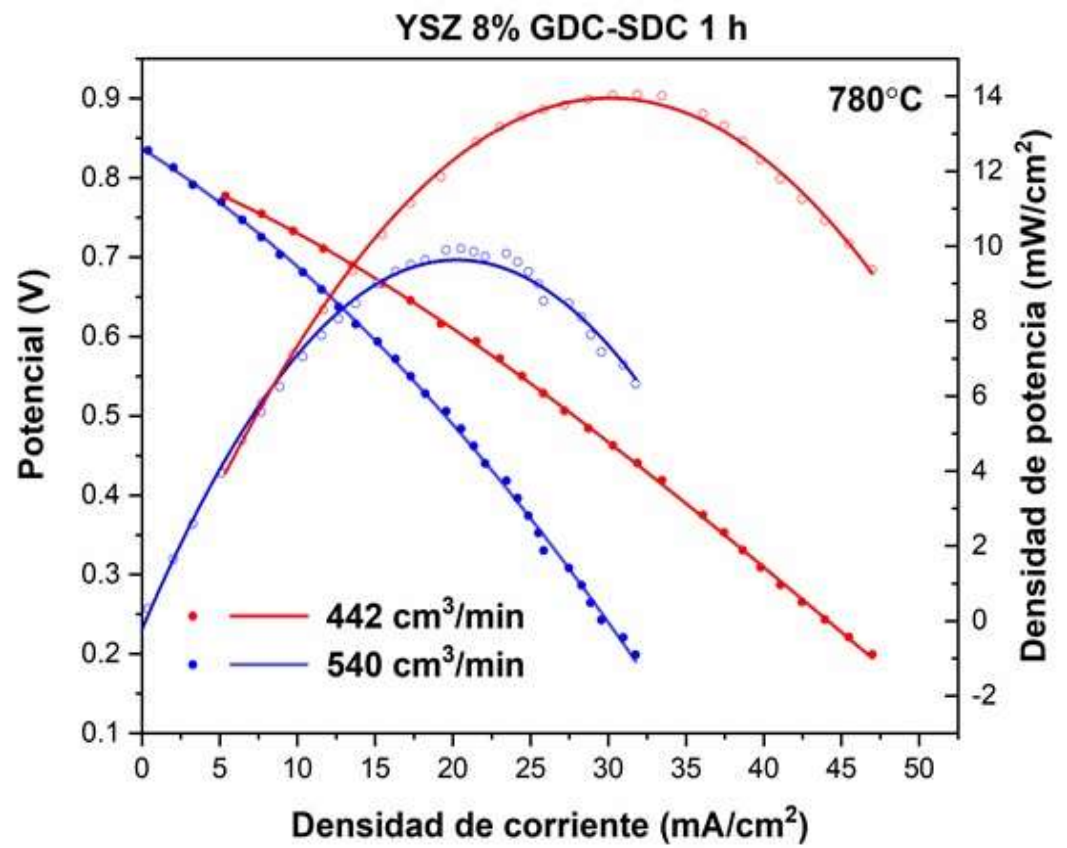


Figura 2. Curva de densidad de potencia de la  $\mu$ SOFC.

De los resultados anteriores, es claro que la ASR para la celda resulta ser dos órdenes de magnitud más pequeña que aquella de una celda convencional de las mismas características pero con dos cámaras ( $1.12\text{ }\Omega\text{cm}^2$ ) (Jamil et al., 2016). Sin embargo, la densidad de potencia disminuye de  $55\text{ mW}/\text{cm}^2$  a los valores antes mencionados. Esto se debe principalmente a la competencia de oxidar y reducir el combustible, y el aire respectivamente; ya que en el ánodo se debe realizar el reformado de  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{C}$ , esto reduce el tiempo de oxidación y aumenta drásticamente las pérdidas por activación y concentración disminuyendo así la densidad de potencia en las celdas. En la figura 3 se muestran los espectros de impedancia compleja (miden la conductividad eléctrica y las pérdidas óhmicas) del electrolito en un rango de temperatura de  $800^\circ\text{C}$ - $600^\circ\text{C}$ . Estos espectros fueron ajustados empleando un circuito simple, el cual genera tres semicírculos en el plano complejo. Los semicírculos en el circuito, de izquierda a derecha representan la impedancia del grano, de la frontera de grano y de los electrodos. La resistencia en serie al inicio del circuito representa la resistencia debida a los cables del sistema. A altas temperaturas los semicírculos se definen de manera absoluta. Esto se debe a que al aumentar la temperatura los tiempos de relajación en los semiconductores YSZ, GDC y SDC se reducen. Se puede afirmar que alta temperatura, donde los semicírculos se muestran bien definidos, el fenómeno electrónico es controlado por la transferencia de carga y por debajo de estas, el fenómeno es controlado por la difusión.

#### Conclusiones

El dispositivo presentado, muestra potencial aplicación en sistemas portátiles de consumo energético bajo como computadoras portátiles y sistemas móviles. Las técnicas de depósito de electrodos empleadas en la presente investigación son simples y escalables industrialmente. El uso de un electrolito nanoestructurado de GDC/SDC crecido por erosión catódica de RF puede disminuir grandemente las tensiones residuales en la celda debido al sustrato de YSZ, aumentando la vida útil del dispositivo, aunque su costo podría ser elevado actualmente.

#### Impacto Socioeconómico

El sistema portátil auto sustentable y amigable con el ambiente,  $\mu$ SOFC, reduce la temperatura de utilización de  $1000$  a  $780^\circ\text{C}$ , disminuyendo el costo de producción de energía eléctrica a celdas de combustible. Además, reduce el efecto invernadero al producir sólo agua de la reacción de oxidación y reducción.



Contacto PCTI:  
[hnlasco2008@hotmail.com](mailto:hnlasco2008@hotmail.com)

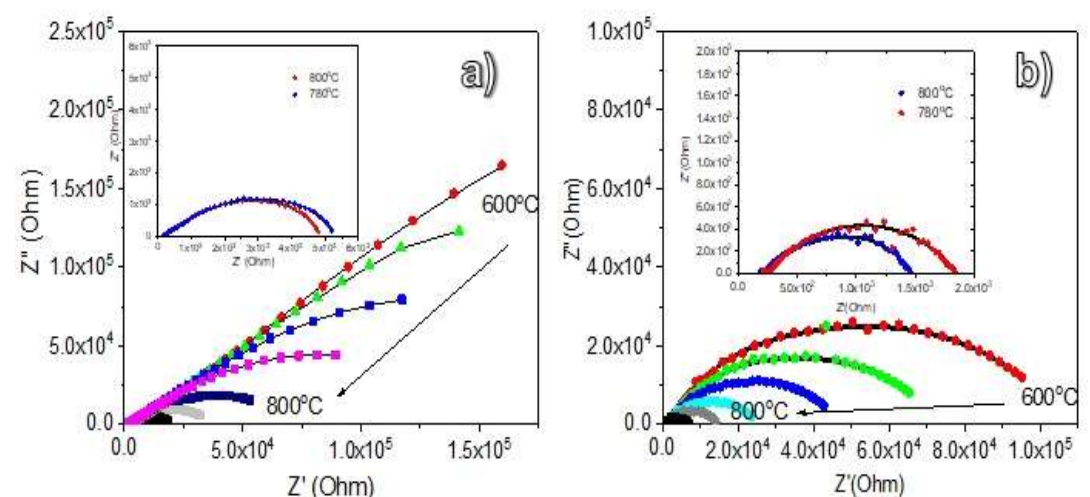


Figura 3. Espectros de impedancia compleja del electrolito a) YSZ 8% mol SDC/GDC, b) YSZ 8% mol GDC/SDC.