Información Suplementaria S2

S2. Determinación de la conductividad térmica en películas delgadas

Los materiales de alta conductividad térmica son ampliamente utilizados en aplicaciones de disipación de calor, y los materiales con baja conductividad térmica se utilizan como aislantes térmicos, por ejemplo, el material 8YSZ estudiado en este trabajo. Entre las técnicas utilizadas para la determinación de los parámetros de transporte térmico, se encuentran las técnicas de estado estacionario y las transitorias o dependientes de la frecuencia. En el primer caso la conductividad térmica se determina directamente y, en el segundo, se mide la difusividad térmica (α), a través de la cual se puede estimar la conductividad térmica (κ) si la densidad (ρ) y el calor específico (c_p) de la muestra estudiada se conocen, mediante la expresión $\alpha = k/\rho c_p$. Dentro de las técnicas transitorias y dependientes de la frecuencia se encuentran la técnica de láser-flash (Baba & Ono, 2001), la espectroscopia de lente térmica (Mayen Mondragon & Yáñez-Limón, 2006), la espectroscopia fotoacústica en sus diferentes modalidades de celda abierta (Alvarado-Gil, 1995), celda cerrada (Rosencwaig & Gersho, 1976), celda de dos haces (Bento, et al., 2002), etc; así como la espectroscopia fotoeléctrica (Mandelis & Zver, 1985). Estas técnicas son muy apropiadas en el caso de muestras en bulk, pero tienen su complicación instrumental y limitaciones en el caso de recubrimientos en forma de película delgada como es el caso del recubrimiento de 8YSZ del presente estudio. Con el fin de encontrar el valor de conductividad térmica de la película delgada, se utilizó la técnica de placas calientes como un sistema apropiado de medición de conductividad térmica (Prías-Barragán, et al., 2012). En esta técnica se asume que la transferencia de calor es por conducción a través de la película de 8YSZ. Para eso la muestra se coloca enfrente de una fuente de calor que aumenta la temperatura a 373 K, donde permanece estable, hasta que el depósito de calor entra en contacto con la muestra y luego este se transfiere desde el calentador al depósito de calor a través de la muestra. La variación se detecta utilizando sensores de estado sólido.

En este sentido es posible obtener las diferencias de potencia térmica entre el calentador y el depósito de calor de la siguiente manera:

$$P_H - P_R = 0 \qquad (1)$$

Dónde las potencias térmicas están dadas por (Prías-Barragán, et al., 2012):

$$P_H = \frac{(T_{C-T})kA}{l} \qquad P_R = cM\frac{dT}{dt} \qquad (2)$$

Donde T_C y T son la temperatura del calentador y la variación de temperatura a través de la muestra; k es la conductividad térmica del material; l y A son el espesor y el área de la muestra; y M y c son la masa y el calor específico del reservorio de calor, respectivamente.

Al igualar las potencias térmicas y resolver la expresión diferencial de primer orden, la evolución de la temperatura del proceso en función del tiempo se puede describir como (Prías-Barragán, et al., 2012):

$$\Delta T_R = T_H \, e^{-\frac{t}{\tau}} + T_S \qquad (3)$$

Donde ΔT_R, T_H y T_S son la variación de temperatura en el depósito de calor, la temperatura en el calentador y la temperatura en la muestra, respectivamente, y t y τ son el tiempo y el inverso de la pendiente, que está directamente relacionado con la conductividad térmica de la muestra. Por lo tanto, la conductividad térmica del material se puede calcular como:

$$k = \frac{lcM}{\tau A} \qquad (4)$$

Puesto que el espesor del substrato es muchas veces mayor que el espesor de la muestra de 8YSZ, la conductividad térmica efectiva en las muestras crecidas sobre sustratos en película delgada se puede obtener usando el método de doble capa (González de la Cruz, et al., 2000, Mansanares, et al., 1990). En este método, la resistencia térmica total es la suma de la resistencia térmica de la película y del sustrato. Entonces, conociendo la geometría de la muestra y la conductividad térmica del sustrato, es posible calcular el valor efectivo de la conductividad térmica en la película de 8YSZ, como (González de la Cruz, et al., 2000, Mansanares, et al. ,1990):

$$k_{YSZ} = \frac{l_{YSZ}}{\left[\left(\frac{l_T}{k_T}\right) - \left(\frac{l_S}{k_S}\right)\right]} \qquad (5)$$

Donde k_{YSZ}, k_S y k_T son las conductividades térmicas de la película de YSZ, del substrato y la total determinada a partir de la ecuación (4), y l_{YSZ} l_S y l_T son los espesores de la película de 8YSZ, del substrato y el espesor total de la muestra, respectivamente.