

Modelo Fotoacústico obtenido para una Fuente Periódica Rectangular de Calor

J. Bruno Rojas-Trigos y A. Calderón

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Legaria 694.
Colonia Irrigación, 11500 México D. F.

Resumen

Basados en un modelo de difusión de calor, y considerando una fuente de calor superficial modulada en tiempo por onda cuadrada periódica, reportamos la determinación de la difusividad térmica α de un conjunto de muestras sólidas conductoras y semiconductoras. Para esto, aplicamos la técnica fotoacústica (FA) en una configuración de celda fotoacústica abierta (CFA), como se muestra en la Figura 1. Presentamos además, una comparación de los resultados obtenidos mediante nuestro modelo (SPM), con los valores de α reportados en la literatura [3] para dichas muestras, así como con los resultados derivados del modelo convencionalmente usado (RGM) [1].

Introducción

Considerando la configuración de celda abierta, y una fuente superficial de calor G_s modulada en el tiempo por una onda periódica cuadrada dada por:

$$G_s(x, t) = \frac{I_0 \kappa_s}{2\kappa_s} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \left(\frac{1}{2} \right)^m \cos\left(\frac{m\pi x}{l_s}\right) \cos\left(\frac{n\pi t}{\tau}\right)$$

Y dadas las ecuaciones de difusión del calor y sus condiciones de frontera adecuadas (para las regiones que definen la celda), y considerando que no existe flujo de calor fuera de la celda, resolvemos las ecuaciones de difusión, encontrándose que la señal fotoacústica V_{out} queda dada por las siguientes expresiones:

Donde: l_s y κ_s son el espesor y la conductividad térmica de la muestra respectivamente, f la frecuencia de modulación, y A_0 es un factor de transducción [2] entre las variaciones de presión acústica y la señal FA.

$$V_{out} = \frac{A_0}{f} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) e^{i(\phi_n - \pi/2)}}{n\pi \sqrt{1 + \cosh^2 2v_n - \cos 2v_n}} \quad \phi_n = -\arctan\left(\frac{\tan v_n}{\tanh v_n}\right) \quad v_n \equiv \sqrt{nf/f_c} \quad ; \quad f_c = \alpha_s / \pi l_s^2$$

Procedimiento Experimental

La determinación de la difusividad térmica se realizó mediante la técnica de detección FA, en la configuración CFA [2,4] en un rango de medición de 120-300 Hz. Las muestras estudiadas se encuentran enlistadas en la Tabla 1, junto con algunas de sus propiedades.

Tabla 1. Lista de muestras y algunas de sus propiedades.

Muestra	Material	Dopante	l_s [μm]	ρ [Ω/cm]
A	Si	P	300 ± 1	1 – 3
B	Si	As	500 ± 1	0.09 - 0.2
C	Si	B	500 ± 1	1 – 3
D	GaAs	Si	466 ± 2	0.001 - 0.015
E	Ag	Ninguno	250 ± 2	No disponible
F	Cu	Ninguno	66 ± 2	No disponible

Resultados y Análisis

En la tabla siguiente, mostramos los valores de difusividad térmica obtenidos mediante el uso de nuestro modelo en la técnica FA, comparándolos con los valores dados por el modelo convencional y los reportados en la literatura.

Tabla 2. Resultados de la medición de la difusividad térmica.

Muestra	α^{SPM}	α^{RGM}	α
	[$\times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$]		
A	89.22 ± 0.5	89.26 ± 0.1	88
B	89.40 ± 0.6	161.10 ± 21.8	88
C	93.21 ± 0.3	137.46 ± 5.5	88
D	33.44 ± 0.03	34.09 ± 0.2	21 – 30
E	173.38 ± 0.3	173.75 ± 0.3	174
F	116.54 ± 0.2	116.54 ± 0.2	117

De la Tabla 2 podemos ver que existe una mejora en la determinación de la difusividad térmica para las muestras B, C, D y E. Para la muestra F, dado su espesor, el intervalo de medición cae dentro del régimen termofino, por lo que la señal FA depende mayormente de la efusividad de la muestra y no de la difusividad de esta, lo que no permite mejorar el valor de la difusividad mediante el estudio de la amplitud de la señal FA. El caso de la muestra A merece un análisis posterior más completo que incluya al estudio de la fase de la señal FA.

Conclusiones

Al aplicar la técnica FA, modificada por las proposiciones de nuestro modelo, para realizar la determinación de la difusividad térmica, hemos obtenido resultados que no sólo justifican la validez del modelo, sino que ofrecen una mejora significativa en la caracterización térmica de materiales sólidos.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) del IPN, por su apoyo a este trabajo.

Referencias

- [1] A. Rosencwaig and A. Gersho. *J. Appl. Phys.* 47, 64 (1976).
- [2] A. Calderón. *PhD. Thesis*. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. México D.F. México, 1997.
- [3] Y. S. Touloukian, R. W. Powell, C. Y. Ho, M. C. Nicolaou. *Thermal Diffusivity. Thermophysical Properties of Matter*. (IFI/PLENUM, New York-Washington), Vol. 10, 1973.