

Contribución al Modelo de Interferencia de Ondas Térmicas para la Caracterización Térmica de Materiales

A. García y E. Marín

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

Resumen

La interferencia de ondas térmicas (TWI) es un modelo que ha demostrado ser apropiado para la descripción de los fenómenos fototérmicos [1]. En este trabajo presentamos el cálculo de la temperatura en la parte delantera y trasera de una muestra con una fuente de ondas térmicas en su superficie. A partir de simulaciones matemáticas se obtienen expresiones que permiten determinar la difusividad térmica a partir de las posiciones de los extremos que aparecen en los canales correspondientes a la parte real e imaginaria de la señal fototérmica en función de la frecuencia de modulación de la fuente periódica de calor y en función del espesor de la muestra. Se presentan algunos resultados preliminares.

Introducción

Varios autores han desarrollado modelos para describir cómo depende la señal FA de la frecuencia de modulación, ν , a partir de la solución de las ecuaciones de difusión de calor y las condiciones de frontera del problema particular analizado, procedimiento que puede ser trabajoso cuando hay varias regiones involucradas en el sistema. El problema se simplifica considerablemente cuando se utiliza el modelo de TWI. En el mismo se supone que las ondas térmicas generadas son capaces de experimentar reflexión en las intercaras entre regiones de materiales diferentes y que los trenes de onda pueden interferir de manera análoga a como sucede con ondas reales. La onda térmica resultante de la interferencia es portadora de información acerca de las propiedades térmicas dinámicas de los materiales involucrados: la difusividad, α , y la efusividad, e , térmicas.

Teoría

Consideremos una muestra, s , de espesor L colocada entre dos regiones 1 y 2. En la región 1 se genera una onda térmica que se propaga a través de la muestra experimentando múltiples reflexiones en las intercaras $s-1$ y $s-2$. Los trenes de onda que llegan a las superficies 1 y 2 interfieren y su suma resulta en la temperatura que puede ser medida con un sensor apropiado. Para la temperatura en 1 y 2 hemos obtenido mediante el modelo de TWI las expresiones:

$$T(L) = T_0 \frac{\exp(-q_s L)}{1 - \gamma \exp(-2q_s L)} \quad (1)$$

y

$$T(0) = T_0 \left[1 + R_{s,2} \frac{\exp(-2q_s L)}{1 - \gamma \exp(-2q_s L)} \right] \quad (2)$$

respectivamente, donde $\gamma = R_{s1} R_{s2}$, $R_{ij} = (1 - b_{ij}) / (1 + b_{ij})$ representan los coeficientes de reflexión térmica, $b_{ij} = e_i / e_j$,

$q = (1 + (-1)^{1/2}) / \mu$, $\mu = (\alpha / \pi \nu)^{1/2}$ y los subíndices i, j , representan a las regiones 1, 2 y s .

Resultados y Análisis

La figura 1 muestra la relación existente entre los espesores en los que la parte real de la señal es mínima, L_{\min} , en función de la frecuencia de modulación, ν , para la detección trasera.

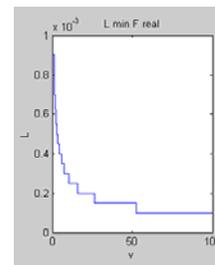


Fig. 1. Dependencia de L_{\min} y la frecuencia ν .

Se observa que ambos parámetros se relacionan mediante una ley del tipo $L_{\min} \sim 1/\nu^{1/2}$. Al variar el valor de la difusividad en la simulación, pudimos observar que la curva se modifica, por lo tanto, la difusividad forma parte de la constante de proporcionalidad en la relación anterior. Al hacer el ajuste por mínimos cuadrados, variando la difusividad, obtuvimos los datos de la Tabla 1.

Difusividad (m^2/s)	pendiente
1×10^{-6}	0.88×10^{-3}
2×10^{-6}	1.2×10^{-3}
4×10^{-6}	1.8×10^{-3}
9×10^{-6}	2.7×10^{-3}

Tabla 1. Ajuste por mínimos cuadrados de L en función de $1/(\nu)^{1/2}$ al variar la difusividad.

Con estos datos, proponemos la relación $L_{\min} = (\alpha / 4\nu)^{1/2}$. De igual manera se llega a resultados similares para la parte imaginaria de la señal y para la detección frontal.

Agradecimientos

A CONACYT y proyecto SIP 20080032.

[Referencias]

[1] D P Almond and P. M. Patel, *Photothermal Science and Techniques* (Chapman and Hall, London, 1996).