



## Aplicación de la técnica fotoacústica a la medición de propiedades ópticas y de transporte en sistemas basados en capas delgadas semiconductoras

J. G. Santoyo Morales 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

Se ha demostrado que la técnica fotoacústica (FA) permite la medición de propiedades ópticas y de transporte en semiconductores. En este trabajo describimos los principales mecanismos de generación de la señal fotoacústica, el sistema experimental que utilizaremos en nuestro trabajo futuro y los resultados de algunas mediciones preliminares realizadas con el objetivo de familiarizarnos con la técnica.

### Introducción

Varios autores han desarrollado modelos para describir cómo depende la señal FA de la frecuencia de modulación,  $f$ , considerando los mecanismos de recombinación de portadores [1]. Las primeras aplicaciones se deben a Pinto Neto *et al* [2], y posteriormente varios autores han reportado mediciones en diferentes sistemas [3]. Los antecedentes, fundamentos y aplicaciones más importantes de las técnicas fototérmicas pueden encontrarse en el libro de Almond y Patel [4].

### Teoría

Cuando sobre un semiconductor de brecha energética  $E_g$  se hace incidir radiación electromagnética de energía  $E > E_g$  se generan pares de portadores de carga minoritarios: Electrones son excitados desde la banda de valencia a la de conducción a través de la banda prohibida, donde transcurrido un tiempo característico termalizan hacia el fondo de las bandas transmitiendo el exceso de energía,  $E-E_g$  a la red cristalina en forma de calor. Ese es el primer mecanismo de generación de calor. Los portadores difunden entonces a través del semiconductor en un proceso determinado por la ecuación de continuidad o de difusión de portadores, hasta que recombinan en el volumen o en la superficie del material. En el primer caso lo pueden hacer radiativa o no radiativamente, siendo este último el proceso que nos interesa para aplicaciones fototérmicas por ser el que genera calor. La fuente de calor correspondiente dependerá del tiempo de recombinación no-radiativo  $\tau_{nr}$ . Por otra parte, los que recombinan en la superficie generan también calor, y la fuente correspondiente dependerá de la velocidad de recombinación superficial,  $S$ . La señal FA dependerá entonces de todos estos parámetros y si se mide en función de  $f$ , para cada mecanismo habrá una dependencia diferente de la misma, lo que permitirá su identificación.

### Procedimiento Experimental

El esquema experimental más utilizado para medir propiedades de transporte en semiconductores hace uso de la configuración de transmisión de calor, también denominada Celda FA abierta cuya descripción detallada puede encontrarse en [3]. Las muestras

analizadas fueron un metal (Al de 15  $\mu\text{m}$  de espesor, L), para el cual solamente se tiene la primera fuente de calor mencionada arriba, y n-Si ( $L=325 \mu\text{m}$ ).

### Resultados y Análisis

Los resultados obtenidos para la amplitud,  $A$ , de la señal FA muestran que para el Al se observa la dependencia típica de  $f$  para una muestra térmicamente fina (TF), es decir  $f^{1.5}$ , mientras que para el Si se observan dos regiones lineales con diferentes dependencias de  $f$  en un gráfico de  $\ln(A)$  vs  $f^{1/2}$ . Por tanto, en la primera la muestra es TF y en la segunda térmicamente gruesa.

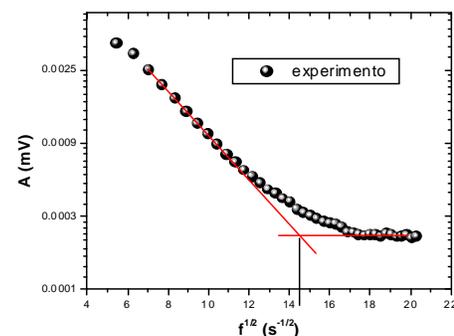


Fig. 1. Resultados para muestra de Si.

La intersección de ambas rectas tiene lugar a  $f_c=209\text{Hz}$ , a partir de la cual la difusividad térmica del material puede calcularse como  $\alpha=f_c\pi L^2=0.7\text{cm}^2/\text{s}$  que se corresponde con el valor reportado. A frecuencias más elevadas deben comenzarse a observar los mecanismos de recombinación descritos anteriormente.

### Agradecimientos

A CONACYT, PIFI-IPN y proyectos SIP 20070490 y 20080653.

### Referencias

- [1] Miranda, L. C. M., *J. Appl. Opt.* **21**: 2923-2928 (1982).
- [2] Pinto-Neto, y col. C. M., *Phys. Rev. B* **40**: 3924-3930 (1989).
- [3] Marín, E, H. Vargas, P. Diaz e I. Riech. *Phys. Stat. Sol.(A)* **179**: 387(2000).
- [4] D P Almond and P. M. Patel, *Photothermal Science and Techniques* (Chapman and Hall, London, 1996).