

## MEDICIONES DE TERMOPOTENCIA EN PELÍCULAS DELGADAS DE OXIDO DE INDIO

L. C. Jiménez, H. Méndez, B.A. Paez, I. A. Morales

Grupo de Películas Delgadas  
Departamento de Física, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C/Colombia  
e-mail: bapaez@lycos.com

### RESUMEN

Se elaboraron películas conductoras y transparentes de óxido de indio por pulverización catódica d.c. en atmósfera reactiva de Ar y O<sub>2</sub>. Se caracterizan eléctricamente a través de mediciones de termopotencia. Adicionalmente se determinó la densidad de portadores y el mecanismo de dispersión dominante con base en mediciones del coeficiente termoelectrónico en dependencia de la temperatura, los resultados mostraron que los portadores son principalmente dispersados por impurezas neutras.

### INTRODUCCION

Los óxidos semiconductores y en particular el InO preparado en película delgada por medio de la técnica de pulverización reactiva DC en atmósfera de Ar y O<sub>2</sub>, ha mostrado propiedades interesantes tales como alta conductividad eléctrica y alta transmitancia en el rango del visible al IR cercano. Debido a esto y a otras propiedades especiales, se ha puesto gran atención en el estudio de propiedades ópticas y eléctricas con la intención de utilizarlas en aplicaciones tecnológicas, siendo una de ellas como contacto eléctrico en celdas solares.<sup>1,2</sup>

Una técnica que se ha venido empleando para caracterizar las propiedades eléctricas de los materiales es a través de medidas de termopotencia o coeficiente Seebeck ( $\alpha$ ) y junto con ella la conductividad eléctrica. En este trabajo se hace énfasis en el estudio de propiedades de transporte eléctricas del InO, ya que este material es un buen candidato a ser utilizado como ventana óptica y a la vez como contacto eléctrico en celdas solares.<sup>3</sup>

### ASPECTOS EXPERIMENTALES

Películas de InO altamente transparentes y conductoras con espesores del orden de  $\sim 1 \mu\text{m}$ , fueron depositadas por la técnica de pulverización reactiva.<sup>4</sup> Estas muestras fueron caracterizadas a través de medidas de termopotencia y resistividad eléctrica en dependencia de la temperatura; utilizando un equipo como el que se muestra en la fig.1. Estas medidas se hicieron a una presión base de 5.2 Pa hasta 8.1 Pa y temperatura de sustrato comprendida entre 35 °C y 72 °C. En cuanto a las mediciones de termopotencia se utilizó el equipo que se indica en la Fig. 1, que consta básicamente de:

- Portamuestras, donde se coloca la muestra de dimensiones 5 mm  $\times$  3mm. Allí mismo se genera un gradiente de temperatura por medio de resistencias calefactoras colocadas en la base de los extremos de la muestra, Fig. 1 (detalles del portamuestra), esto permite crear un cambio en la temperatura de la muestra no superior a 1 K.

- El rango de temperatura para el cual se pueden hacer mediciones de termopotencia está entre 80 K y 500 K y con variaciones de 1 K.

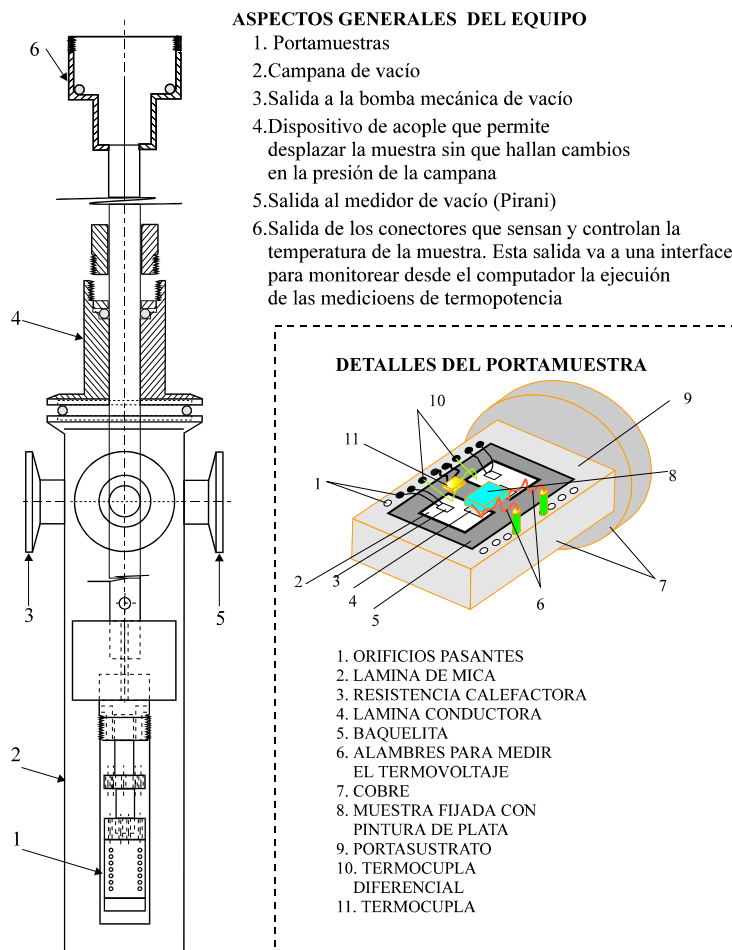
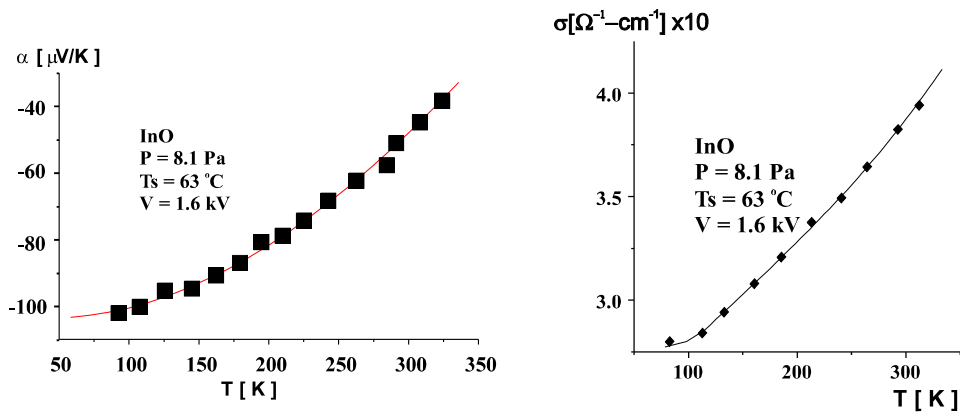


Figura 1. Equipo para medición del coeficiente termoeléctrico

- EL equipo brinda la posibilidad de hacer mediciones en muestras cuya geometría no está bien definida y su tamaño es de 5mm × 3mm.
- La adquisición de datos se lleva a cabo por medio de una tarjeta National Instruments, PCI 6024E, utilizando como software un programa desarrollado en Lab View.
- El proceso de enfriamiento se hace por medio de la inmersión de la campana de vacío en N<sub>2</sub> líquido. El proceso de calentamiento se lleva a cabo por medio de una fuente de corriente constante.

**RESULTADOS**

La fig. 2 muestra una curva típica de termopotencia,  $\alpha$  en dependencia de la temperatura, obtenida con una muestra de InO, depositada por pulverización reactiva a una presión de 8.1 Pa, temperatura de porta-substrato 63 °C, corriente de descarga 12.5 mA, potencial entre ánodo y cátodo de 1.6 kV. Esta muestra se seleccionó para realizar el estudio de propiedades de transporte eléctrico, a través de medidas de  $\alpha$ .



**Figura 2.** Variación de la termopotencia  $\alpha$  en dependencia de la temperatura, obtenida con una muestra de InO, depositada por pulverización reactiva a una presión de 8.1 Pa **Figura 3.** (a) Variación de la conductividad eléctrica en función de la temperatura para el InO.

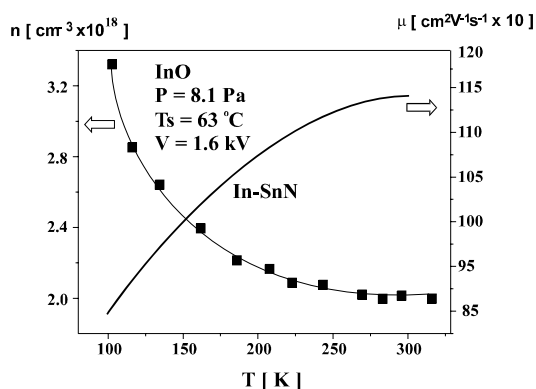
De la fig. 2 se observa que los valores de termopotencia son pequeños, los cuales se obtienen típicamente con metales,<sup>5</sup> por lo tanto, estos resultados indican que las películas son degeneradas. Para comprobar esto, se determinó la energía de activación a través de medidas de conductividad eléctrica  $\sigma$  en función de la temperatura. La Fig. 3 muestra una curva de la resistividad en dependencia con la temperatura. Utilizando valores experimentales de  $\alpha$  y  $\sigma$ , se calculó la densidad de portadores  $n$ , utilizando el siguiente conjunto de parámetros:  $m^* = 0.3m_0$  y un parámetro de dispersión  $r = 1/2$  que corresponde al caso en que el mecanismo de dispersión dominante es a través de interacción de portadores libres con impurezas ionizadas.

La fig. 4 muestra la forma como varía la movilidad y la concentración de portadores en películas delgadas de In-SnN. La movilidad  $\mu$  fue determinada usando la relación  $\sigma = qn\mu$  y los valores de  $\sigma$  y  $n$  presentados en las figs. 3 y 4.

Estos resultados muestran que las películas delgadas de InO presentan densidades de portadores del orden de  $10^{18} \text{cm}^{-3}$ .

Se observa en la fig. 4 que  $n$  varía muy poco, esto significa que por el grado de degeneración del material, la densidad de portadores es prácticamente independiente de la temperatura. Este resultado es en cierta forma esperado ya que al aumentar  $T$  se incrementa la densidad de

portadores libres como consecuencia de un incremento en la densidad de impurezas neutras. A temperaturas del orden de 200K se presenta una saturación en el proceso de ionización de impurezas, lo cual conduce también a una saturación en la densidad de portadores libres. La reducción de  $\mu$  al aumentar T (para  $T < 200K$ ) podría ser causada por el incremento en  $N_I$  cuando el mecanismo de dispersión dominante es dispersión con impurezas ionizadas.



**Figura 4.** Variación de la movilidad y de la densidad de portadores en dependencia de la temperatura. Muestra de In-SnN

### CONCLUSIONES

Se prepararon películas delgadas de InO por medio de la técnica de pulverización c.c reactiva, y se encontró que los parámetros adecuados para obtener películas del alta conductividad eléctrica se presenta cuando la presión de la cámara es de 8.1 Pa, temperatura de sustrato 63 °C, diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo 1.6 kV. Las muestras depositadas bajo las condiciones mencionadas presentan densidades de portadores del orden de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , esto muestra que el material es degenerado. Además, junto con las mediciones de termopotencia se encontró que el mecanismo de dispersión dominante es debido principalmente a impurezas neutras.

### REFERENCIAS

- [1] S. Chang, Chemical Sensors, Kondansha, Tokyo, 1983, p.78
- [2] R. Lalauze, P. Breuil and C. Pijolat, Sensors Actuators B., **3** (1991) 175
- [3] G. Gordillo, B.A. Paez, C.E. Jácome and J.M. Flórez. *Thermoelectric power in SnO<sub>2</sub> thin films. Thin Solid Films* (1999) TSF342, (160-166).
- [4] B.A. Paez, Tesis de Pregrado Para Optar al Título de Físico, Universidad Nacional de Bogotá / Colombia, (Noviembre 1996)
- [5] D.M. Rowe. CRC Handbook of THERMOELECTRICS / Edited by D.M. Rowe, Ph.D., D.Sc. p.181 (CRC Press, Boca Raton, Florida (1994)).