

# PELÍCULAS DELGADAS, CONDUCTORAS Y TRANSPARENTES, DE ÓXIDO DE ZINC DOPADO CON ALUMINIO

M. Tentor Carmody<sup>1</sup>, A. Benvenuto<sup>2</sup> y J. A. Schmidt<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencia de los Materiales, Facultad de Ingeniería Química, UNL, Santiago del Estero 2829, Santa Fe, Argentina

<sup>2</sup> Área de Física de Semiconductores, Instituto de Física del Litoral, Güemes 3450, Santa Fe, Argentina

## Introducción:

La combinación de una alta conductividad eléctrica con una alta transparencia óptica es difícil de encontrar en un material, pero resulta de mucha utilidad en dispositivos que requieran un contacto eléctrico que permita el paso de la luz. Algunos óxidos semiconductores dopados cumplen con estas características, por lo que han sido muy estudiados. Tal es el caso del óxido de zinc dopado con aluminio (ZnO:Al), que puede ser preparado por distintos métodos. En este trabajo, estudiamos la deposición del ZnO:Al por pulverización catódica asistida por un campo magnético (*magnetron sputtering*) y analizamos la influencia de las condiciones de deposición sobre las propiedades del material resultante.

## Método:

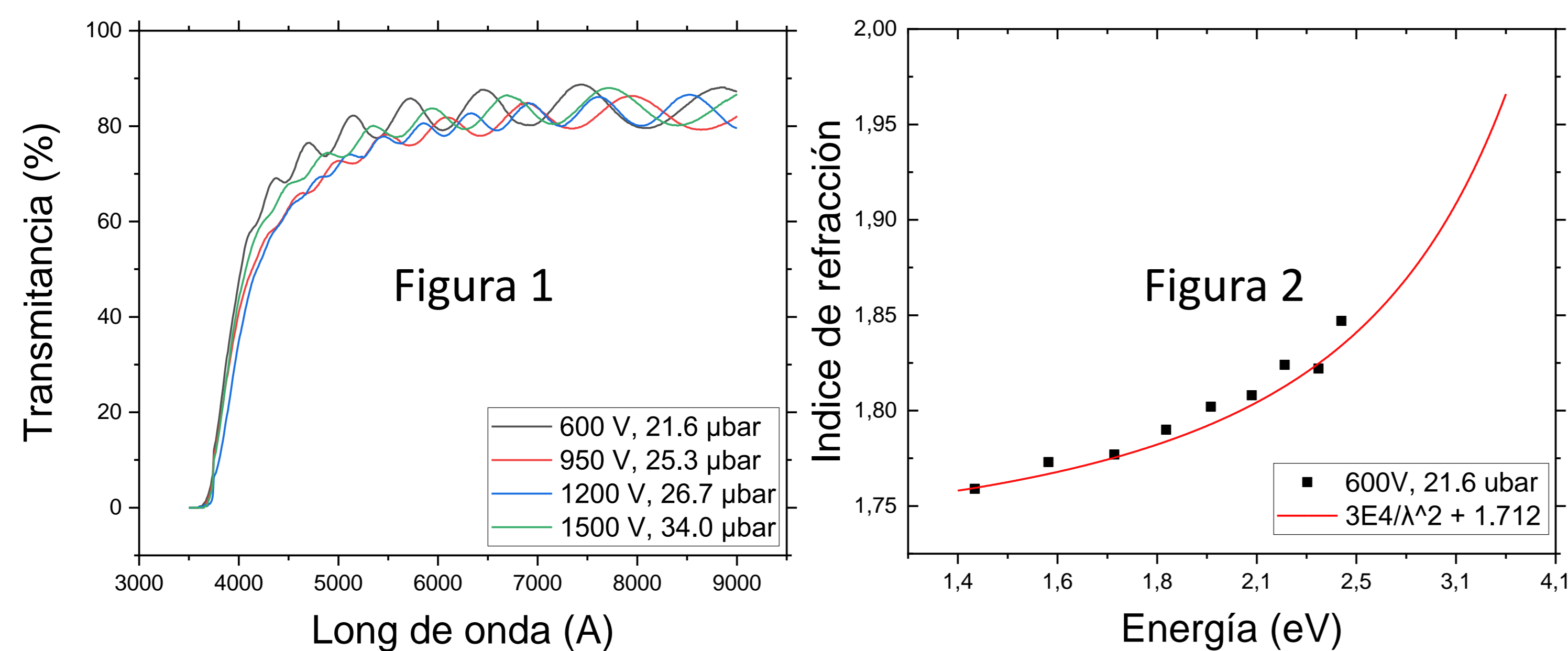
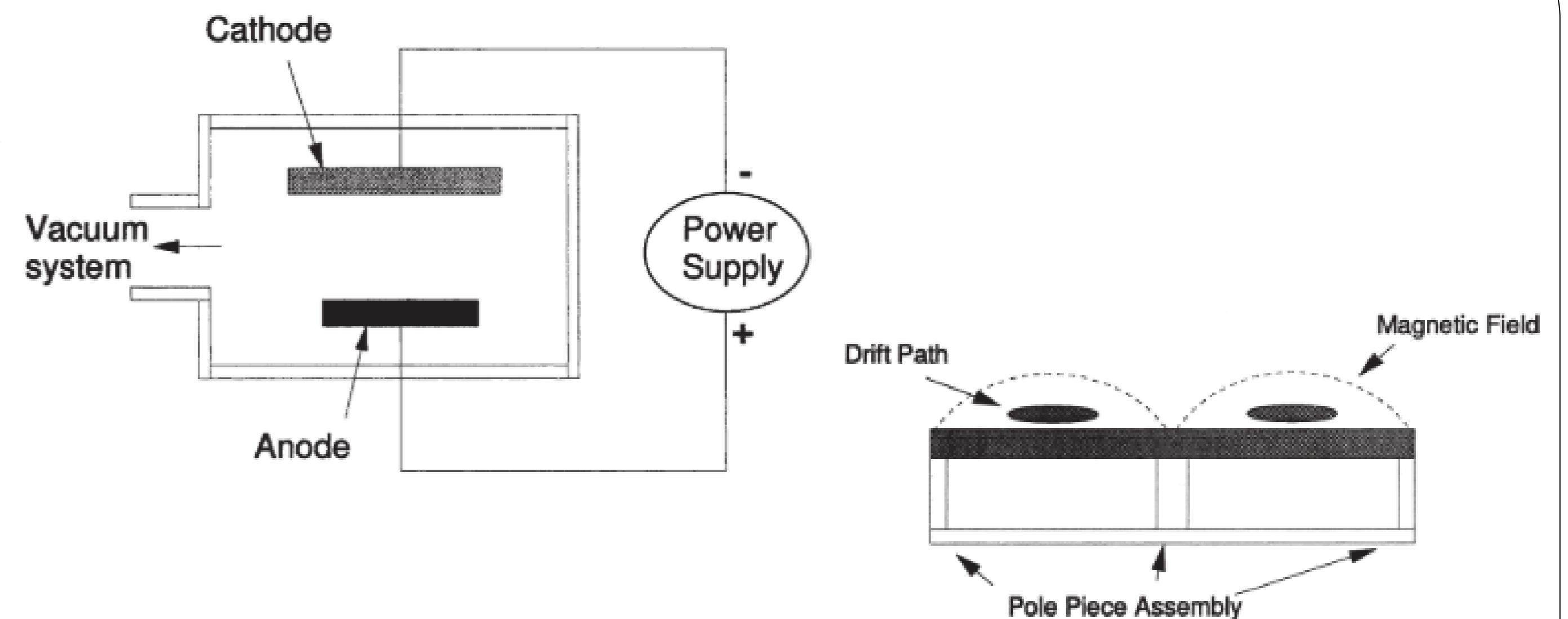
El método de deposición por *sputtering* funciona mediante la creación de un plasma de iones de Argón; estos iones, gracias a un fuerte campo eléctrico, se aceleran hacia el blanco, impactando con él y desprendiendo partículas del mismo, que luego se depositan sobre un sustrato.

Dentro de una campana de vacío se coloca un blanco de óxido de zinc dopado con aluminio (ZnO:Al) conectado a una fuente de tensión. Se coloca un sustrato de vidrio a unos 7 cm del blanco, sobre el cual hay serie de imanes permanentes sostenidos por una placa de aluminio; todo esto se encuentra conectado a tierra. Se realiza alto vacío con un conjunto de bomba mecánica y difusora. Luego se inyecta argón, controlando el caudal entrante, para mantener una presión constante dentro de la cámara (entre 5 y 120  $\mu$ bar). Una vez llegada a la presión deseada, se encienden las fuentes de tensión. Contamos con dos fuentes que se conectan en serie: una fuente de corriente continua, que nos permite aplicar una tensión negativa entre 0 y 1500 V, y una fuente de corriente alterna de radiofrecuencia que facilita la ionización del gas. El tiempo de deposición se varió entre 60 y 120 minutos, dependiendo los parámetros de *sputtering*, para lograr un espesor cercano a 1500 nm.

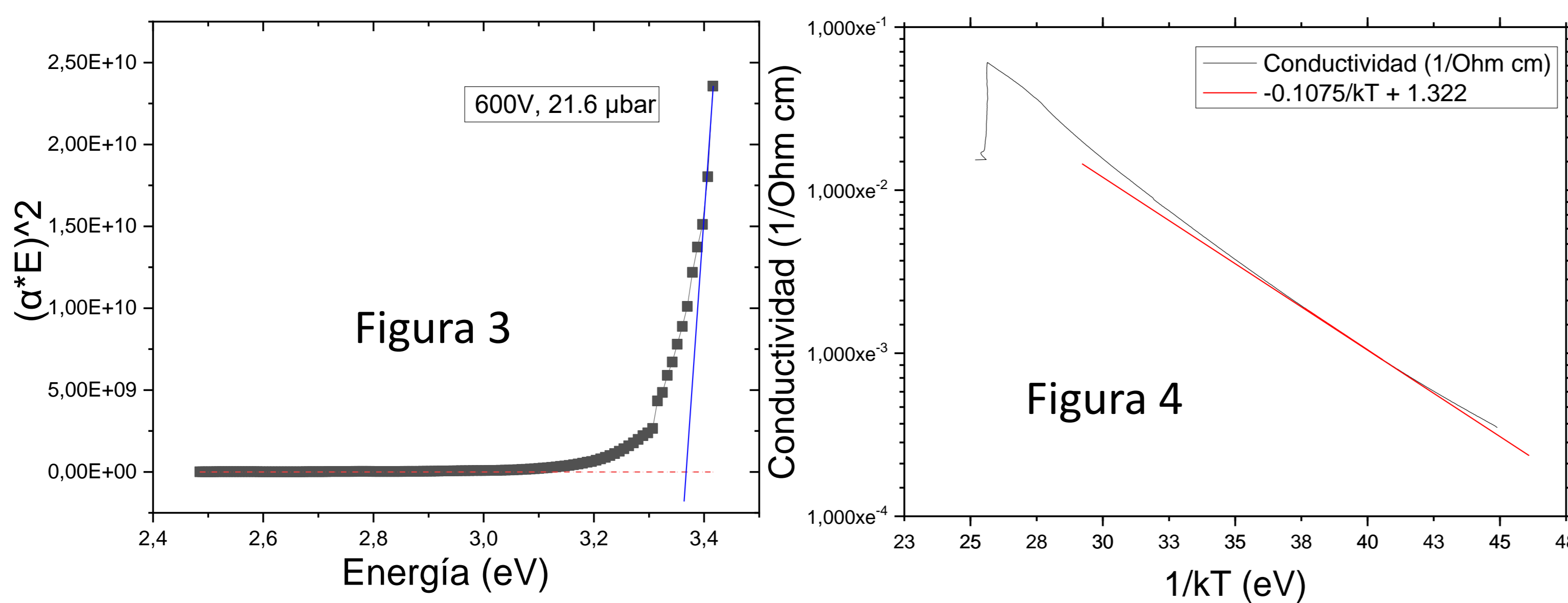
Recientemente se incorporó un calefactor y una termocupla, lo que nos permitió comenzar a realizar deposiciones en función de la temperatura. Sin embargo, en los experimentos presentados aquí la deposición se realizó a temperatura ambiente, variando la tensión de continua entre 600 y 1500 V. Se midió el espectro de transmitancia de las muestras (Figura 1), a partir del cual se calculó el espesor, índice de refracción (Figura 2) y coeficiente de absorción usando el método de Swanepoel [1]. Con este último dato, se obtuvo el gap óptico del material depositado (Figura 3).

Se midió la resistencia por cuadro de las muestras al sacarlas de la cámara; esta medición, junto al espesor de las películas, nos permitió hacer un cálculo aproximado de la resistividad de la muestra obtenida.

[1] R Swanepoel, Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon, *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, Vol. 16, p. 1214, 1983.

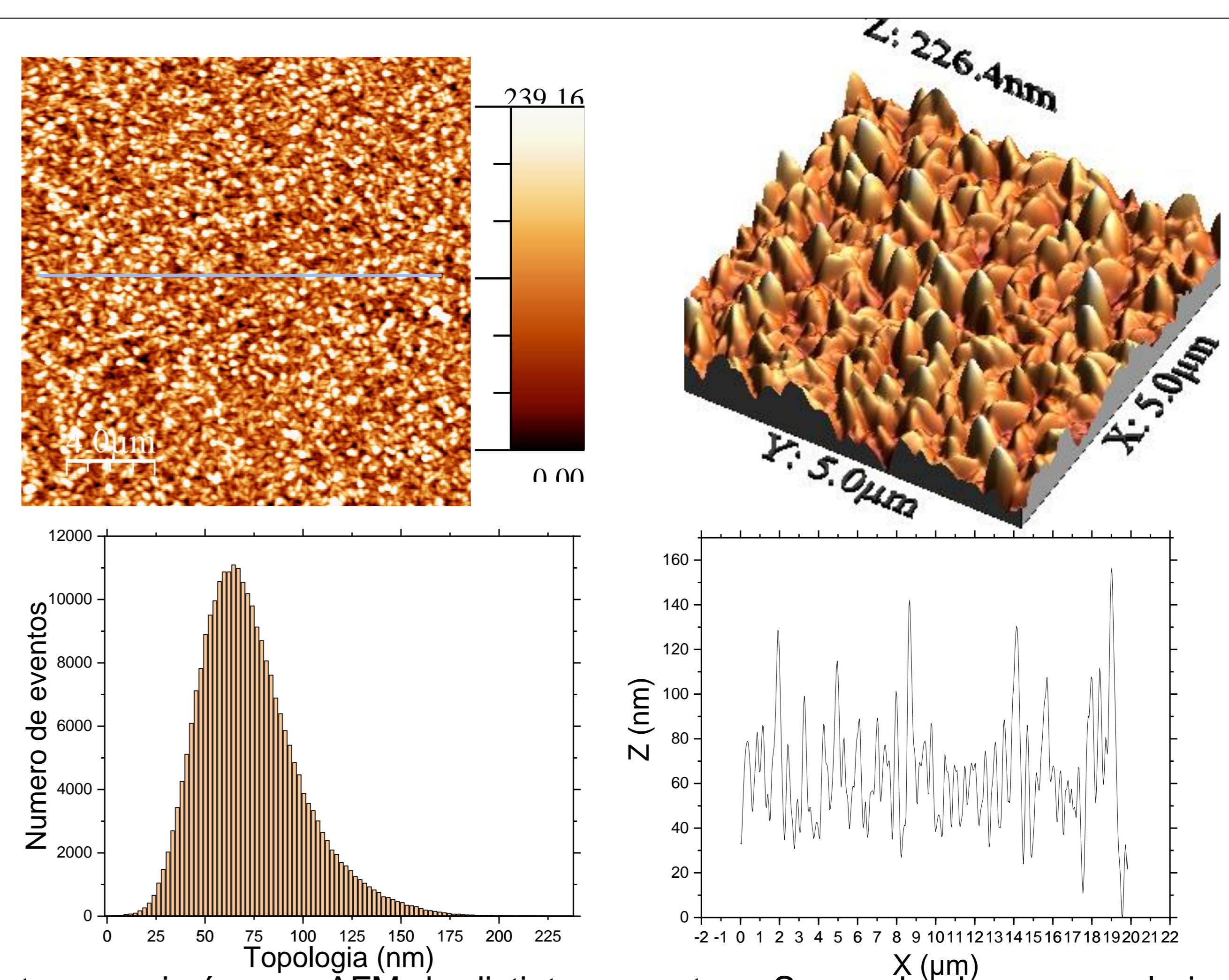


En la Figura 1 se observan los espectros de transmitancia de las cuatro muestras; en la Figura 2 se observa el ajuste a los puntos obtenidos del índice de refracción  $n$  para una de las muestras.



En la Figura 3 se observa el ajuste realizado para calcular el gap óptico de un material de gap directo, a partir del coeficiente de absorción  $\alpha$ . En la Figura 4 se observa la curva de conductividad al enfriarse desde 180°C hasta -20°C, y el ajuste realizado para calcular la energía de activación del semiconductor.

Dos meses después de preparadas las muestras, se les depositó contactos de aluminio para hacer ensayos de Efecto Hall y Conductividad vs Temperatura. Utilizando el método de Van Der Pauw se pudo obtener la densidad de portadores de carga (en este caso electrones)  $n$ , la movilidad electrónica  $\mu$ , y una nueva medida de resistividad. A partir de la medición de conductividad en función de temperatura (Figura 4), se calculó la energía de activación de los semiconductores. Se observa un cambio drástico en la resistividad con el paso del tiempo, esto suponemos que se debe a alguna interacción de la muestra con el ambiente.



Se tomaron imágenes AFM de distintas muestras. Se puede observar, en la imagen de la derecha, que se tiene una diferencia de alturas entre valle y pico de 150 nm. No se encontraron grandes variaciones de la rugosidad entre las distintas muestras. La rugosidad cuadrática media toma valores entre 16 y 32 nm.

Tensión (V)	Presión ( $\mu$ bar)	Tiempo (min)	$\rho$ (Ohm cm)	Espesor (nm)	V deposición (nm/min)	$n(\lambda)$	$E_g$ (ev)	$E_a$ (eV)	$\mu$ ( $cm^2/V s$ )	$n$ ( $cm^{-3}$ )	$\rho$ 2 meses después (Ohm cm)
600	21.6	120	0.466	1260	10.50	$3E4/\lambda^2 + 1.746$	3.23	0.0896	0.863	$1.09E18$	6.618
950	25.3	120	0.426	1375	11.45	$3E4/\lambda^2 + 1.664$	3.29	0.0413	3.076	$1.28E17$	15.827
1200	26.7	120	0.322	2012	16.76	$3E4/\lambda^2 + 1.647$	3.18	0.1072	0.703	$6.12E17$	14.531
1500	34.8	60	0.248	1305	21.75	$3E4/\lambda^2 + 1.652$	3.33	-	0.736	$1.15E18$	7.367

## Conclusión:

El método de *magnetron sputtering* resulta adecuado para depositar ZnO:Al con buenas propiedades ópticas y eléctricas. Se obtuvieron transmitancias mayores al 80% en la zona visible, y resistividades menores a 1  $\Omega$ .cm. Se observa que al aumentar la tensión aplicada, aumenta la velocidad de deposición y las muestras tienen una resistividad menor.