

3

**CARACTERIZACIÓN
ÓPTICA Y
MORFOLÓGICA
DE PELÍCULAS
DELGADAS DE
ÓXIDO DE ZINC**

Caracterización óptica y morfológica de películas delgadas de Óxido de Zinc

S. Uc-Canche¹, J.L. Peña-Chapa¹, M.H. Farias², R. Mis-Fernández¹

*¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida.
Carr. Antigua a Progreso, Km. 6, Mérida, Yucatán, México, 97310.*

*²Universidad Nacional Autónoma de México—Centro de Nanociencias y Nanotecnología
Km. 107 Carr. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. 22860, México.*

e-mail: sheyda_1990@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se presentan los efectos de la variación de temperatura en el depósito de películas delgadas de ZnO/vidrio. La película delgada de ZnO fue depositada mediante la técnica de RF-Sputtering a 85 Watts, temperaturas de sustrato de 100, 150 y 200 °C, y una presión de Ar/O₂ de 20 mTorr. Las muestras fueron caracterizadas mediante las técnicas de Espectroscopia óptica UV-Vis y Microscopia de Fuerza Atómica (AFM). Las películas delgadas de ZnO mostraron una superficie homogénea con granos definidos, transmitancia mayor al 80 % y energía de banda prohibida cercana a 3.32 eV.

1. Introducción

La energía se ha convertido en una materia prima fundamental para el funcionamiento de las economías; es parte de los problemas actuales en el mundo, pero también ayuda en la solución de los mismos.

El uso en gran escala de la energía renovable es importante para el futuro por varias razones: elimina la dependencia de combustibles fósiles, combate el calentamiento global y eleva el nivel de vida de las poblaciones en los países en desarrollo. Los combustibles fósiles

no son renovables y el ritmo de vida de la sociedad de hoy en día demanda una mayor cantidad de energía. Esto ha llevado a la sociedad a plantear el uso de fuentes de energía alternas al petróleo, como lo son: biocombustibles, energía eólica y energía fotovoltaica, entre otros. Entre las fuentes de energía alternas con mayor potencial para su aplicación a la solución de los problemas mencionados está la energía fotovoltaica o celdas solares [1]. Las celdas solares son dispositivos que convierten la energía solar en eléctrica; específicamente las de película delgada, han adquirido mucha popularidad debido a su alta eficiencia, siendo la más representativa las de Teluro de Cadmio (CdTe), CIGS ($\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2$), CZTSSe ($\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se},\text{S})_4$), silicio amorfo y silicio microamorfo. Para las celdas solares basadas en CdTe se ha reportado una eficiencia teórica máxima del 28% [2], sin embargo, la eficiencia que se ha alcanzado es del 22.1% reportado por *First Solar* en 2016 [3].

En la **Figura 1.** se puede observar la representación esquemática de las PDs que integran una celda solar. En la cual el Óxido de Zinc (ZnO capa buffer), funge como una barrera, que impide difusiones de indio, cuando contacto frontal es ITO. Además, de evitar cortos circuitos entre

el contacto frontal y la capa absorbidora (CdTe), cuando la capa ventana (CdS) es muy delgada.

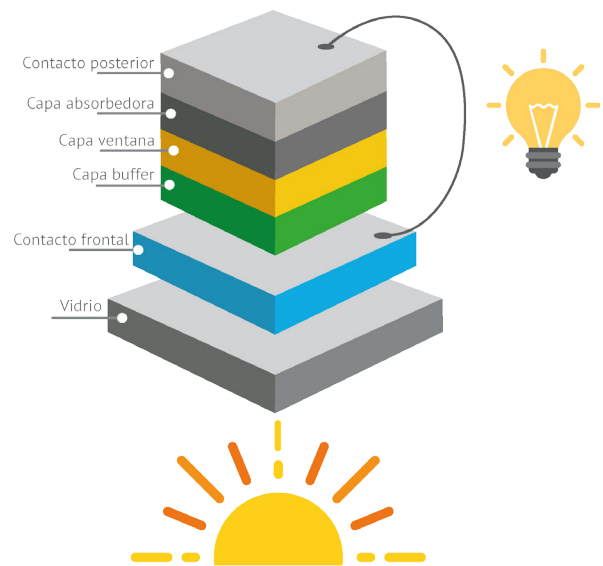


Figura 1. Configuración de una celda solar.

Actualmente se sabe que el ZnO es un semiconductor del grupo II-VI, al cual se le pueden modular sus propiedades intrínsecas con la adición de impurezas, comúnmente llamado dopaje. El ZnO puede cristalizar en tres tipos de estructuras: cubica (tipo sal de roca), cubica zinc blenda y hexagonal wurtzita. El ZnO tiene un band gap directo de 3.37 eV a 300 K, actualmente ha generado gran interés en el desarrollo de dispositivos fotovoltaicos por sus propiedades físicas. Otro parámetro importante del ZnO es su

transparencia, la cual se encuentra en la región visible del espectro electromagnético en un intervalo de 300 a 800 nm; su transmitancia posee valores por encima de 80% en esta región del espectro [4]. Existen diversos procesos físicos y químicos que permiten obtener el ZnO en forma de película delgada, por ejemplo, el RF-Sputtering. Con la técnica de depósito de RF-Sputtering es posible modular las condiciones de depósito, como son la potencia, la presión y la temperatura de sustrato. En este trabajo se depositaron PDs de ZnO mediante la técnica de RF-Sputtering, variando las temperaturas de depósito. Se estudiará cómo la temperatura de sustrato afecta en las propiedades ópticas y morfológicas de las PDs de ZnO.

2. Desarrollo experimental

La película delgada de ZnO se depositó por la técnica de RF-sputtering, con una presión base de 1×10^{-5} Torr. El vacío se genera hasta 1×10^{-5} Torr por medio de una bomba mecánica y la bomba turbo molecular se encarga de bajar la presión hasta 1×10^{-5} Torr. Se introdujo Ar y O₂, hasta alcanzar una presión de 20 mTorr. Posteriormente se realiza un pre-sputtering

a una potencia de 85 W por 5 minutos. Se realizó el depósito de la película delgada de ZnO a 20 mTorr y 85 W, con un tiempo de depósito de 30 minutos a diferentes temperaturas, cabe mencionar que la diferencia de temperatura es el parámetro principal modificado en este trabajo. Los depósitos de las películas delgadas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Celdas Solares del CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, por otro lado, la caracterización de los materiales se llevó a cabo en el Centro de Nanociencias y Nanotecnología-UNAM campus Ensenada, como parte de una estancia financiada por Red de Energía Solar. Se realizaron mediciones de transmitancia y absorbancia en un intervalo de longitud de onda de 200 a 1000 nm, con un espectrofotómetro CARY 50 *Tablet UV-Visible Spectrophotometer*. De igual manera, las muestras fueron caracterizadas morfológicamente con Microscopía de Fuerza Atómica (AFM por sus siglas en inglés *Atomic Force Microscope*) con el equipo XE-70 *Parks System* con una punta de silicio.

3. Resultados y Discusión

En la **Figura 2.** se presentan los espectros de transmitancia de la película delgada de ZnO con diferentes tem-

peraturas de depósito. Las tres películas delgadas muestran un valor máximo de transmitancia que superan el 80% en la región. El espectro de absorción muestra dos regiones, la primera región se observa una baja absorción a longitudes de onda y una mayor absorción a longitudes de onda menores ($\lambda < 385$).

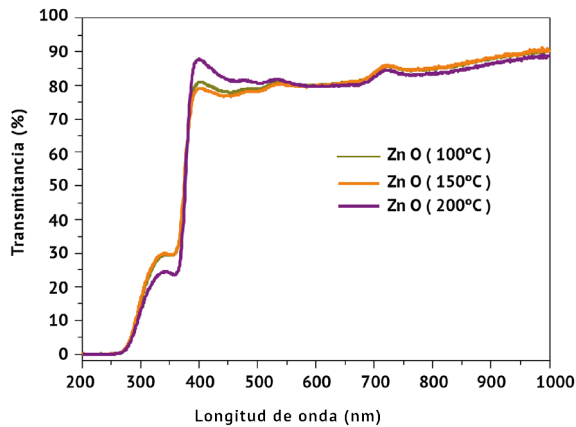


Figura 2. Espectro de transmitancia de las películas delgadas de ZnO.

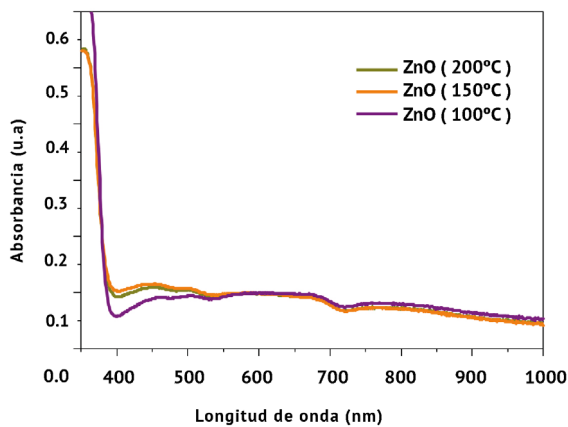


Figura 3. Espectro de absorción de las películas delgadas de ZnO.

La banda de energía prohibida (E_g) fue calculado mediante el método de la primera derivada, empleando la gráfica de absorbancia. Los valores estimados de E_g son cercanos a 3.32 eV. Los valores de E_g obtenidos concuerdan con los valores reportados en otros trabajos [5][6]. Se realizó la caracterización morfológica mediante AFM de las películas delgadas de ZnO a depositadas a 100 y 150°C, en la **Figura 5-a** y **5-b** se presentan las imágenes bidimensionales de las películas, respectivamente. En las imágenes 2D se puede observar películas con una superficie compacta y homogéneo, así como granos definidos.

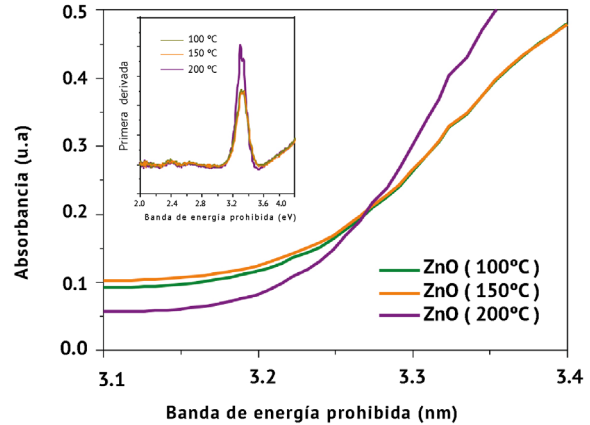


Figura 4. Espectro de absorción contra la energía de banda prohibida.

Se realizó la caracterización morfológica mediante AFM de las películas delgadas de ZnO a depositadas a 100 y 150°C, en

la **Figura 5-a y 5-b** se presentan las imágenes bidimensionales de las películas, respectivamente. En las imágenes 2D se puede observar películas con una superficie compacta y homogénea, así como granos definidos. El tamaño de grano medido para la película a 100 °C es alrededor de 30 a 50 nm, sin embargo, la película de ZnO a 150 °C el tamaño de grano es mayor, 40 a 60 nm. Bartoleto et. al reportaron un incremento en el tamaño de grano cuando la temperatura aumenta [7].

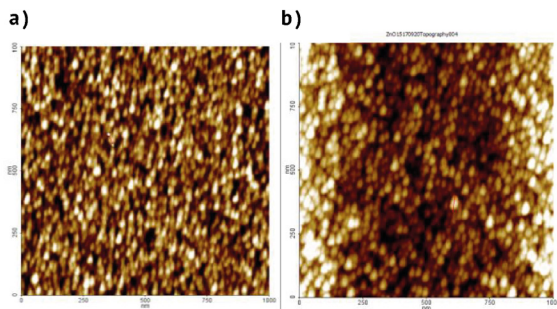


Figura 5. Imágenes AFM bidimensionales de las películas de ZnO a a) 100°C y b) 150°C.

En la **Figura 6.** se puede observar las imágenes tridimensionales de las películas depositadas a 100 °C y 150 °C, **Figura 6-a** y **6-b**, respectivamente. En esta perspectiva las distribuciones, formas y dimensiones de los granos son más notables. Para la **Película a)** se presenta una rugosidad media cuadrática es de 4.499 nm, mientras que para la **Película b)** se obtuvo una rugosidad media cuadrática de

2.398 nm, se puede observar la película delgada a 150 °C presenta una menor rugosidad, por lo tanto, es posible afirmar que la película delgada depositada a 150 °C es más uniforme.

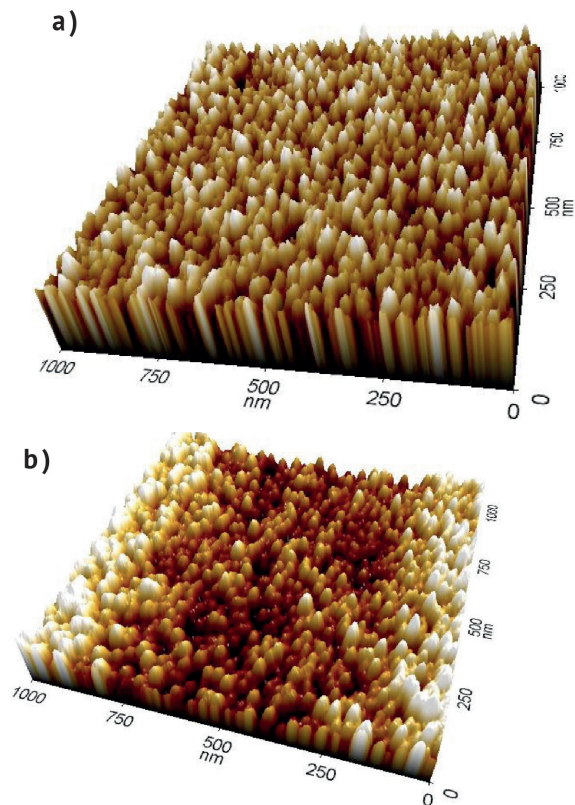


Figura 6. Imágenes AFM tridimensionales de las películas de ZnO a a) 100°C y b) 150°C.

4. Conclusiones

Se obtuvieron películas de ZnO/vidrio mediante la técnica RF-Sputtering reactivo, usando una atmósfera de Ar/O₂ y varian

do la temperatura de sustrato (100°C, 150°C y 200°C) y 200°C). Los espectros de transmitancia de las películas delgadas de ZnO/vidrio presentan transmitancias mayores al 80% y un corrimiento del borde de absorción hacia longitudes de onda menores. Las imágenes AFM muestran películas delgadas de ZnO homogéneas y compactas, sin embargo, fue posible determinar que depositando a mayor temperatura es posible obtener granos más grandes y definidos.

Agradecimientos

Red de Energía Solar y CONACYT-SEN-ER(México)- CeMIE-Sol 207450/P25 por el financiamiento otorgado. CINVESTAV- IPN Unidad Mérida y CNYN-UNAM Campus Ensenada por el apoyo tecnológico. Eduardo Murillo y Hugo Borbón por el apoyo técnico. L. Pinelo y Z. Rodríguez por el apoyo secretarial.

REFERENCIAS

- [1] A. Morales, La electricidad que viene del sol: una fuente de energía limpia, México, DF., 2003.
- [2] L. Fraas and L. Partain, Solar cell and their applications, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2010.
- [3] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, "Photovoltaics Report," 17 Noviembre 2016. [Online]. Available: www.ise.fraunhofer.de. [Accessed 8 Abril 2017].
- [4] X. Zhang, K. N. Hui, K. S. Hui and J. Singh, "Structural and optical characterization of high-quality ZnO thin films deposited by reactive RF magnetron sputtering," ELSEVIER, vol. 48, pp. 1093-1098, 2013.
- [5] U. Ozgur, Y. I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. A. Reshchikov, S. Dogan, V. Avrutin, S.-J. Cho and H. Morkoc, "A comprehensive review of ZnO materials and devices", Journal of Applied Physics, vol. 98, 2005.
- [6] G. P. Daniel, V. B. Justin Victor, P. B. Nair, K. Joy, P. Koshy, P. V. Thomas, "Effect of annealing temperature on the structural and optical properties of ZnO thin films prepared by RF magnetron sputtering", Physica B, vol. 405, pp. 1782-1786, 2010.
- [7] J.R.R. Bortoleto, M. Chavesa, A.M. Rosab, E.P. da Silva, S.F. Durranta, L.D. Trinoc, P. N. Lisboa-Filho, "Growth evolution of self-textured ZnO films deposited by magnetron sputtering at low temperature", Applied Surface Science, vol. 334, pp. 210-2015, 2015.