

8

**COMPARACIÓN DE
LAS PROPIEDADES
ÓPTICAS Y
MORFOLÓGICAS
DE LAS PELÍCULAS
DELGADAS DE CDS Y
CDS: O DEPOSITADAS
POR RF-SPUTTERING**

Comparación de las propiedades ópticas y morfológicas de las películas delgadas de CdS y CdS:O depositadas por RF-Sputtering

M. Loeza-Poot^{1}, J. L. Peña¹, M. H. Farías², R. Mis-Fernández¹*

*¹Centro de investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
Unidad Mérida Km. 6 carretera antigua a Progreso Mérida, Yucatán, México C. P. 97310.*

*²Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la UNAM
Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, B. C., México, C. P. 22860.*

e-mail: mariely_lop@hotmail.com

Palabras Clave

CdS, CdS:O, RF-Sputtering.

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de las propiedades ópticas y morfológicas de las películas delgadas de CdS y CdS:O depositadas por la técnica de RF-Sputtering en una atmósfera de Ar+O₂. Para este estudio se utilizaron porcentajes de oxígeno de 0% (CdS) y 1.1% (CdS:O). Después del depósito de las películas se realizó un tratamiento térmico (TT) en una atmósfera de Ar+O₂ a 530°C. Los resultados muestran que la introducción de oxígeno durante el depósito produce un incremento en la transmitancia y el bandgap, sin embargo el TT genera que las muestras de CdS y CdS:O permanezcan con propiedades similares.

1. Introducción

Con el desarrollo de la tecnología y las necesidades que se crean a raíz de esta, se ha tomado un gran interés en el estudio de los materiales semiconductores, debido a que son los principales componentes utilizados en la fabricación de los dispositivos electrónicos. Uno de los semiconductores que ha sido objeto de estudio en las últimas décadas es el sulfuro de cadmio (CdS). Este compuesto inorgánico de color amarillo-naranja, se encuentra en la naturaleza como un mineral presenta múltiples aplicaciones como por ejemplo: su uso para la elaboración de fotorresistencias, en transistores de película delgada, filtros ópticos, y en la conversión fotovoltaica de energía solar [1, 2], entre otros. En esta última aplicación se encuentra su aplicación en las celdas solares de película delgada, materiales cuyo espesor se encuentra en el orden de nanómetros (nm) hasta unas cuantas micras (μm). Dentro de la celda solar, el CdS se emplea como capa ventana, cuya función es dejar pasar la mayor cantidad de luz hacia la capa absorbidora, por lo que el material debe poseer una alta transmitancia óptica. Sin embargo una de sus desventajas es que posee una brecha

de energía prohibida (bandgap) de 2.42 eV lo que provoca una absorción en la región azul del espectro. Trabajos anteriores han demostrado que es posible incrementar la transmitancia óptica del CdS cuando se deposita en presencia de oxígeno [3, 4]. Por lo anterior, este trabajo tiene como objetivo comparar las propiedades ópticas y morfológicas de las películas delgadas de CdS y CdS:O depositadas por la técnica de RF-Sputtering antes y después del tratamiento térmico.

Metodología experimental

Las películas delgadas de CdS y CdS:O fueron depositadas sobre sustratos de vidrio (Corning 2947) con un área de pulgada cuadrada, usando un blanco de CdS de 3 pulgadas de diámetro y 99.99% de pureza. Para el depósito de las muestras se utilizó la técnica de RF-Sputtering reactivo, el proceso se llevó a cabo en una cámara de vacío evacuada a una presión base de 1×10^{-5} Torr. Durante el depósito se utilizó una mezcla de gases de Ar + O₂, usando un porcentaje de oxígeno de 0% para el CdS y de 1.1% para el CdS:O. La presión de trabajo fue de 25 mTorr y una potencia de 35 W, manteniendo un espesor de 80 nm. Con el fin de conocer el comportamiento de

estos dos materiales cuando son incorporados en las celdas solares de CdTe, se realizó un tratamiento térmico (TT) a ambas estructuras en una atmosfera de $\text{Ar} + \text{O}_2$, donde se simularon las condiciones depósito de la película delgada de CdTe, que es la capa que le prosigue a la capa ventana. Ambas estructuras CdS/vidrio y CdS:O/vidrio fueron caracterizadas óptica y morfológicamente, antes y después del TT. La caracterización óptica se efectuó en un espectrómetro Varian Cary 50 con lámpara de Xenón, donde se determinó los espectros de transmitancia y absorbancia. Las propiedades morfológicas fueron obtenidas mediante la técnica de AFM usando el microscopio Park System modelo XE-70.

2. Análisis de resultados

Es importante destacar que las películas delgadas de CdS y CdS:O fueron depositadas en el laboratorio de Celdas Solares del CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, mientras que la caracterización se realizó en el CNyN- UNAM en Ensenada, B. C. En la **Figura 1**, se presentan las imágenes de la muestras de CdS y CdS:O sin TT (**Figura 1-a y 1c**) y con TT (**Figura 1-b y 1-d**). En ellas, se puede observar que todas las muestras presentan un color amarillo, sin

embargo, para el caso del CdS:O se tiene un tono más claro. Esto es similar a lo reportado por Kaminski y colaboradores, donde se tiene que a altos contenidos de oxígeno las películas delgadas de CdS:O llegan a ser transparentes [5]. Las muestras con TT poseen la misma coloración por lo que se esperaría que sus propiedades ópticas sean muy similares.

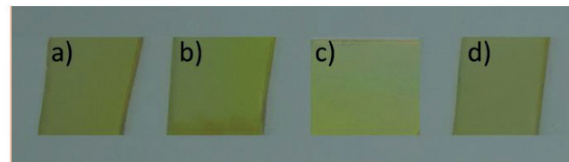


Figura 1. Muestras de a) CdS sin TT, b) CdS con TT, c) CdS:O sin TT y d) CdS:O con TT, depositadas por RF-Sputtering.

Los espectros de transmitancia óptica con un intervalo de longitud de onda (λ) de 200 a 1000 nm son presentados en la figura 2. En ellos se puede observar que el espectro de transmitancia del CdS permanece sin cambios significativo cuando se realiza el TT, manteniendo una transmitancia promedio mayor al 60% para $\lambda > 500\text{nm}$, esto concuerda con la imagen de la figura 1 al no variar la coloración. En el caso del CdS:O la muestra sin TT posee mayor transmitancia que el CdS, lo que demuestra que la incorporación de oxígeno durante el depósito permite ampliar el rango de transmisión del CdS; sin embargo después del TT la transmitancia de la muestra de CdS:O

tiende a ser la misma que para las muestras con 0% de oxígeno, esto podría deberse a una reducción de cantidad de oxígeno presente en la muestra y es uno de los motivos por el cual la imagen de la **Figura 1-d** se torna amarilla.

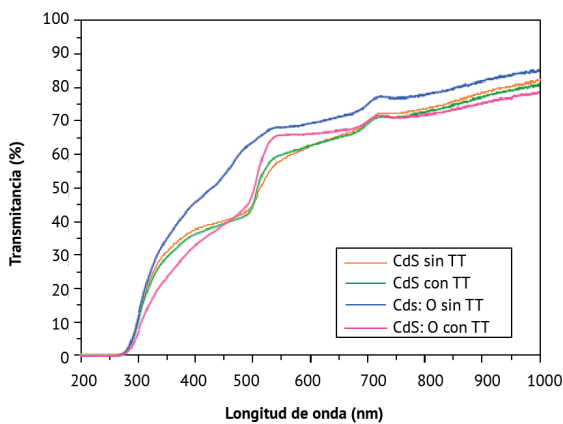


Figura 2. Espectros de transmitancia de las películas delgadas de CdS y CdS:O depositadas por Sputtering.

El incremento de la transmitancia para la película de CdS:O sin TT produce un corrimiento en el borde de absorción hacia la región azul del espectro, lo anterior se puede observar en la figura 3 donde se presentan los espectros de absorción. Después del TT la absorbancia para ambas muestras tiene la misma tendencia, sin embargo para la película de CdS:O es

ligeramente menor en comparación con la de CdS. Por lo tanto, los valores de la brecha de energía prohibida (bandgap) fueron obtenidos por extrapolación de la parte lineal de la gráfica $(\alpha h\nu)^2$ vs $h\nu$ la cual se presenta en la **Figura 4**.

En las muestras sin TT se pudo observar un incremento en el valor del bandgap de 2.23 a 2.48 eV, cuando el oxígeno es introducido durante el depósito de la película. Después del TT los valores del bandgap por el TT concuerda con los resultados obtenidos por otros grupos [3-6]. Los cambios producidos por el TT nos podrían indicar cambios en las composiciones químicas de las películas analizadas.

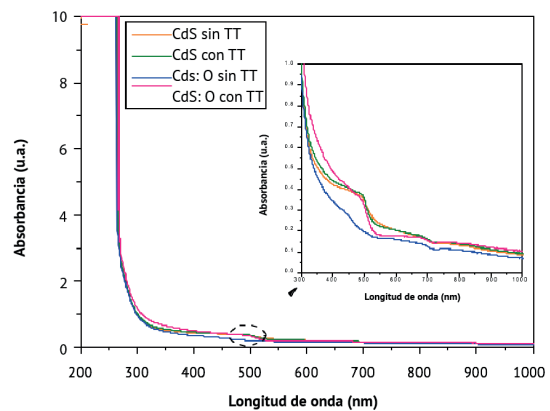


Figura 3. Espectro de absorción del CdS y CdS:O antes y después del TT. La imagen insertada muestra una ampliación del cambio de absorción en la región azul del espectro.

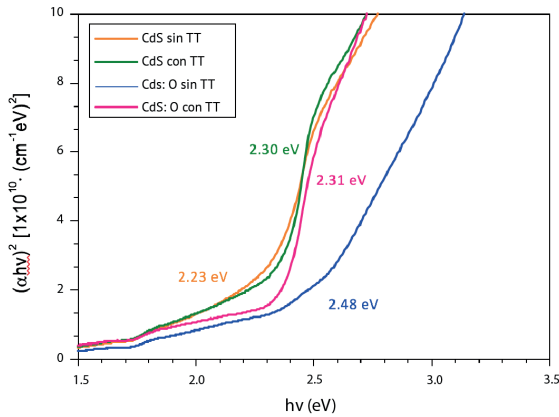


Figura 4. Bandgap de las muestras de CdS y CdS:O sin y con TT.

En la **Figura 5**, se presenta el análisis morfológico de la superficie mediante imágenes de AFM, las cuales fueron procesadas usando el programa XEImaging software, con el que se obtuvo la rugosidad promedio y el tamaño de grano. Las muestras sin TT presentan una superficie con granos de forma esférica, cuyos diámetros varían de 0.02 a 0.1 μm , siendo menores en la muestra que contiene oxígeno. La rugosidad promedio para el CdS y CdS:O es de 2.89 y 5.5 nm, respectivamente. Después del TT se puede observar un incremento en el tamaño de grano de ambas muestras, así como la presencia de unos cúmulos de entre 0.3 y 0.4 μm , dando como resultado una mayor rugosidad en las muestras las cuales son de aproximadamente 22.9 y 15.3 nm para el CdS y CdS:O con TT, respectivamente. La presencia de oxígeno en el CdS in

fluye en el tamaño de grano y la densidad de las películas, lo cual también ha sido observado por otros autores [7, 8]. En cuanto al TT, el hecho de que el tamaño de grano aumente se encuentra relacionado con el incremento de la cristalinidad de las muestras analizadas.

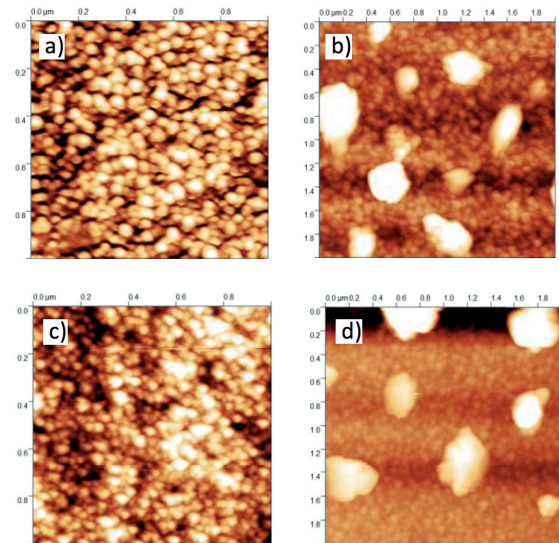


Figura 5. Imágenes de AFM para las muestras de a) CdS sin TT, b) CdS con TT, c) CdS:O sin TT y d) CdS:O con TT.

3. Conclusiones

Fue posible obtener películas delgadas de CdS y CdS:O por la técnica de RF-Sputtering. La introducción de oxígeno durante el depósito produce que un incremento en la transmitancia óptica y el valor del bandgap del CdS. El tratamiento térmico

a 530°C en atmósfera de Ar+O₂ provoca que la película delgada de CdS:O posea propiedades ópticas y morfológicas similares al CdS. Las muestras obtenidas son uniformes y no presentan huecos por lo que son candidatas a ser utilizadas en las celdas solares de película delgada.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Red de Energía Solar del CONACYT, así como por CONACYT-SENER (México) bajo el proyecto CEMIE-Sol 207450/P25. Loeza-Poot, M. agradece el financiamiento otorgado por CONACYT-México por la beca (número 556332) en el departamento de Física aplicada del CINVESTAV- Mérida. Los autores agradecen a M.C. Eduardo Murillo y Dr. Hugo Borbon por el soporte técnico, y a L. Pinelo y S. Rodríguez por el apoyo secretarial.

REFERENCIAS

- [1] Senthil, K., Mangalaraj, D., Narayandass, Sa. K., Adachi, Sadao. *Materials Science and Engineering B*, 53–58, 2000.
- [2] Oumous, H., Hadiri, H. *Thin Solid Films*, 87–90, 2001.
- [3] X. Wu, Y. Yan, R. G. Dhere, Y. Zhang, J. Zhou, C. Perkins and B. To. *Physics state solid*, vol. 1, no. 4, pp. 1062-1066, 2004.
- [4] J. M. Kephart, R. M. Geisthardt and W. S. Sampath, *Progress in photovoltaics: research and applications*, 2015.
- [5] P.M. Kaminski, F. Lisco, A. Abbas, J.W. Bowers, G. Claudio, J.M. Walls. 43th IEEE, 2014, pp.1626-1631.
- [6] Hernández-Rodríguez, E., Loeza-Poot, M., Riech, I., Rejón, V., Peña, J.L. *Journal of Physics D: Applied Physics* 48, pp. 255102, 2015.
- [7] N. R. Paudel, C. R. Grice, C. Xiao and Y. Yan. *Journal of applied physics*, vol. 116, p. 044506, 2014.
- [8] Ipsita Chinmay, K. Poutray, Udai P. Singh. *Thin solid film*, Vol.527, pp. 147-150, 2013.