

# 10

ACTIVACIÓN DE  
CELDA SOLAR DE  
PELÍCULAS DELGADAS  
DE CDS/CDTE, CON  
MEZCLA DE GASES QUE  
CONTIENE CLORO

# Activación de celda solar de películas delgadas de CdS/CdTe, con mezcla de gases que contiene cloro

*A. López-Sánchez<sup>1</sup>, J.L. Peña<sup>1</sup>, Mario H. Farías<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>C 1Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Unidad Mérida, Km. 6 Antigua carretera a Progreso, Apdo Postal 73, Cordemx, 97310, Mérida, Yuc., México.*

*<sup>2</sup>Universidad Nacional de México-Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. 22860, México .*

*e-mail: adolfo-ls@hotmail.com*

## Palabras Clave

Película delgada, Activación de CdS/CdTe, Límites de granos, Celda solar.

## Resumen

En este trabajo se presentan los resultados del efecto de activación en celda solar de películas delgadas CdS/CdTe. Después del proceso de activación, se produjeron cambios morfológicos sobre la superficie de CdTe debido a la presencia del cloro. Los cambios en la superficie son principalmente por erosiones en los límites de granos, esto se determinó mediante un análisis SEM. El contacto posterior es una película delgada de molibdeno con espesor de 200 nm que se obtuvo con AFM. La celda solar preparada se caracterizó mediante las curvas de densidad de corriente-voltaje (J -V) en oscuridad e iluminada a temperatura ambiente. El resultado de la medición de la curva J-V bajo iluminación muestra una eficiencia de 9.13%.

## 1. Introducción

El desarrollo tecnológico y bienestar social son las causas principales de mayor consumo energético, y nuestra fuente principal de energía, el petróleo, ha causado problemas ambientales. Una de las alternativas para contrarrestar la problemática, es generar energía por fuentes renovables. La energía solar es una de las alternativas para la generación de electricidad por medio de dispositivos fotovoltaicos, también llamadas celdas solares fabricadas con semiconductores que son capaces de absorber la luz solar y generar electricidad.

El telurio de cadmio (CdTe) se ha convertido en el material base para producir celdas solares de películas delgadas de alta eficiencia a bajo costo [1]. Debido a sus propiedades ópticas, eléctricas y químicas ha sido objeto de estudio para su aplicación en celdas solares, sin embargo, para obtener conversión fotovoltaica altas es necesario someterlo a un proceso de activación que consiste en un tratamiento térmico a 400°C en una atmósfera que contiene cloro. Típicamente, la activación se realiza con  $\text{CdCl}_2$  como fuente de cloro, pero debido que es altamente tóxico se ha buscado otras alternativas;

una de ellas son los clorofluorometano, CF's. Estudios realizados sobre los compuestos de Freón, indican que son de los más estables entre los compuestos orgánicos. Se ha demostrado que el gas Freón 22 ( $\text{CHClF}_2$ ), se puede descomponer catalíticamente a una temperatura de 400°C en presencia de un óxido de metal, oxígeno, nitrógeno y vapor de agua [2]. El uso de una mezcla de gases que contiene  $\text{CHClF}_2$  en la metodología de este trabajo nos permite tener un proceso de activación reproducible por el control de los gases. La celda solar sin proceso de activación produce baja eficiencia de conversión fotovoltaica debido a la alta densidad de defectos en la interfaz. La activación produce la recristalización, crecimiento de los granos de CdTe y disminuya la densidad de defectos en las fronteras de grano y genera la interdifusión del CdS y CdTe [3], es en la activación cuando se genera la unión pn, y este genera un campo eléctrico que es capaz de separar los pares electrón-hueco generados por la absorción de la luz solar. La etapa final en el proceso de fabricación de una celda solar es el contacto posterior (contacto metálico). Un contacto posterior debe tener baja resistencia laminar y ser estable. En este estudio la metalización de la celda fue hecha con Molibdeno.

## 2. Desarrollo experimental

La celda solar fue fabricada utilizando ZnO/CdS/CdTe depositadas sobre el contacto frontal de ITO en un sustrato de vidrio. Las películas delgadas de ZnO y CdS se depositaron por la técnica RF-Sputtering. La capa de CdTe se depositó por la técnica de CSS. La celda solar tiene como contacto posterior Cu/Mo ambos depositados por RF-sputtering.

La estructura Vidrio/ITO/ZnO/CdS/CdTe fue sometida al tratamiento de activación a una temperatura de 400°C por 15 minutos en una atmósfera de gases que contiene  $\text{CHClF}_2$  a 150 Torr de presión total.

La caracterización morfológica de la película delgada de CdTe fue realizada por microscopía electrónica de barrido (SEM) JOEL JIB 2400, el espesor de la película delgada de Mo, fue medido con AFM con el equipo XE-70 Parks System y la medición de la curva I-V en oscuras con equipo KEITHLEY, 2460 SourceMeter. Estas técnicas de caracterización fueron realizadas en el Centro de Nanociencias y Nanotecnologías (CNyN) de la UNAM

campus Ensenada. El depósito de las películas delgadas y la medición de la curva J-V bajo iluminación fueron realizados en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN) unidad Mérida.

## 3. Análisis y discusión de resultados

### 3.1. Análisis morfológico del CdTe

En la **Figura 1**, se muestra la superficie del CdTe antes de la activación, se puede observar que la superficie del CdTe es homogénea, sin grietas o agujeros y los límites de granos son muy marcados. En la **Figura 2**, se observa que la superficie de la película delgada de CdTe presenta cambios morfológicos cuando es sometida a un proceso de activación a 400°C en una atmósfera que contiene  $\text{CHClF}_2$ . Los cambios morfológicos consisten principalmente en coalescencia y erosiones en las fronteras de grano. Una superficie con coalescencia nos permite tener un mejor precontacto con el cobre (Cu) para una mejor extracción de los huecos.

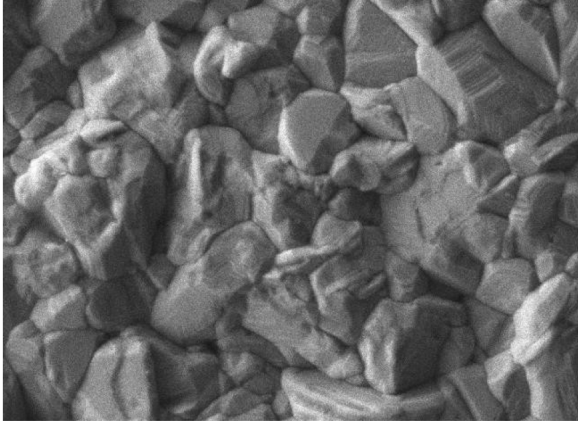


Figura 1. Micrografía SEM de CdTe antes de la activación.

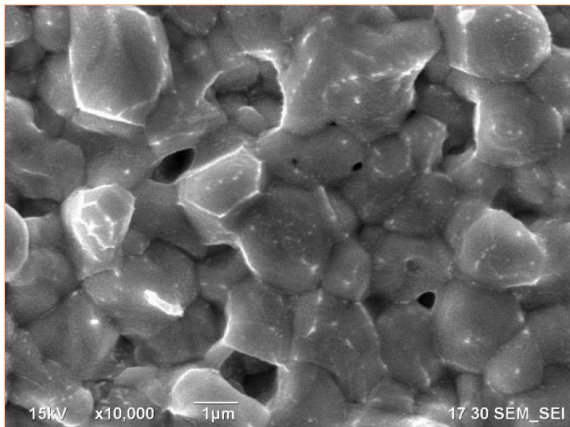


Figura 2. Micrografía SEM de CdTe después de la activación.

### 3.2 Medición de espesor de Molibdeno

La película de Mo fue depositada dejando un escalón para poder medir el espesor, como se muestra en la **Figura 3**. De acuerdo con la medición del escalón, el espesor de la muestra es de 200 nm. En la **Figura 4**, se muestra la imagen

en 3D y se puede observar que la superficie es uniforme y homogénea. Una superficie uniforme es apropiada para formar un buen contacto óhmico, sin embargo, el espesor obtenido es delgada lo que genera mayor resistencia serie.

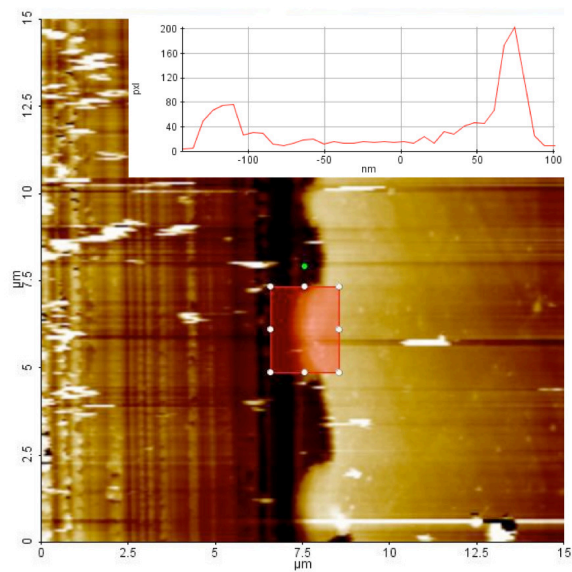


Figura 3. Imagen AFM de una película delgada de Molibdeno (Mo) sobre vidrio vista frontal.

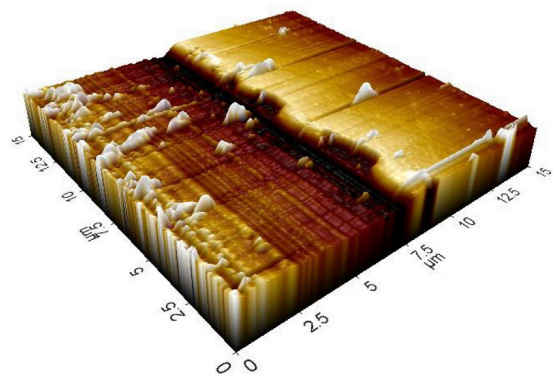


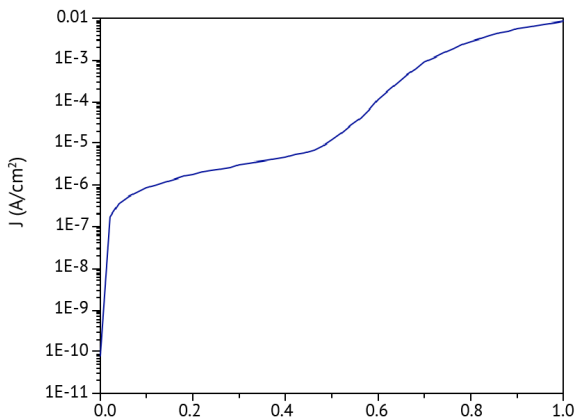
Figura 4. Imagen AFM de una película delgada de molibdeno (Mo) sobre vidrio en 3D.

### 3.3 Característica Corriente-Voltaje

En la **Figura 5**, se muestra la característica J-V de la celda solar de CdS/CdTe bajo oscuridad. De esta figura podemos ver en la parte superior de la curva que tiene una distorsión que influye en una resistencia serie relativamente alta y resistencia shunt alta, este último se puede observar en la pendiente de la curva de la parte inferior. La corriente de saturación  $I_0$  es un mecanismo de conducción intrínseco de la unión pn que se puede calcular con la ecuación del diodo.

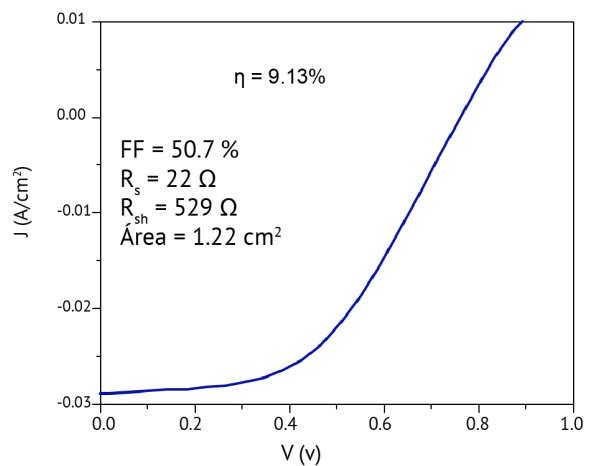
$$J = J_s \left( \exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right)$$

Donde J es la corriente,  $J_s$  es la corriente de saturación, q la carga elemental, V el voltaje, n el factor de idealidad, K la constante de Boltzman y T la temperatura.



**Figura 5.** Caracterización eléctrica en oscuridad de la celda solar de CdS/CdTe.

Los parámetros eléctricos de una celda solar bajo iluminación, nos permiten determinar si el proceso de activación ha tenido una influencia en mejora de las propiedades eléctricas. Como se mencionó anteriormente, si no se realiza un tratamiento de activación a la celda solar, los valores de los parámetros eléctricos de la celda solar son bajos, y como consecuencia la eficiencia también lo es. De acuerdo con la medición de J-V bajo iluminación como se muestra en la **Figura 6**., se obtiene una corriente de 23.7 mA/cm<sup>2</sup> y un voltaje de 0.761 V de la celda solar con área de 1.22 cm<sup>2</sup>. La corriente record alcanzado es de 30.94 mA/cm<sup>2</sup> con un voltaje de 877 mV [4]. Este record fue obtenido por la empresa *First Solar*.



**Figura 6.** Caracterización eléctrica bajo iluminación de la celda solar CdS/CdTe.

Además de la mejora de los parámetros eléctricos después del proceso de acti-

vacación, otro aspecto importante a considerar, es el contacto posterior. De acuerdo con la medición J-V, en la curva se puede ver que tiene roll-over, debido al contacto posterior con alta resistencia serie. La existencia del roll-over, se le atribuye a las propiedades eléctricas del CdTe, por la presencia de una barrera Schottky (CdTe/Cu/Mo), que afecta principalmente el transporte de huecos, por el aumento de la energía en la barrera potencial del contacto posterior [5, 6]. Por lo tanto, un buen contacto óhmico no debe presentar roll-over. En relación con el resultado obtenido, la película del-

gada de Mo requiere mayor espesor para disminuir la resistencia serie.

#### **4. Conclusiones**

Los cambios morfológicos en la superficie del CdTe, consisten principalmente en erosiones en las fronteras de los granos de CdTe por la presencia del cloro. La película del molibdeno, requiere de mayor espesor para no tener una resistencia serie alta. La activación de las celdas requiere de mayor estudio para tener una mezcla óptima, así generar una mejor pasivación en la interface CdS/CdTe.

## Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la Red de Energía Solar, al CONACYT, al proyecto CONACYT-SENER CeMIE-Sol 207450/25, al CNyN y a la UNAM. Los autores agradecen a Ricardo Mis, Hugo Borbón, Eduardo A. Murillo, David A. Domínguez y Eduardo Gradilla por su apoyo técnico.

## REFERENCIAS

- [1] D. Bonnet y P. Meyers, «Cadmium-telluride, Material for thin film solar cells,» *Journal of Material Research*, vol. 13, nº 10, pp. 2740-2753, 1998.
- [2] L. Gong-Liang, T. Ishihara, Y. Moro-oka y Y. Takita, «Catalytic decomposition of HCFC22 (CHClF<sub>2</sub>),» *Applied Catalysis*, vol. 9, pp. 239-249, 1996.
- [3] R. W. Miles, G. Zoppi, K. T. Ramakrishna Reddy y I. Forbes, «Thin Film solar cells based on the use of polycrystalline thin film materials,» de *Organic Nanostructured Thin Film Devices and Coatings for Clean Energy*, New York, CRC Press, 2010, pp. 1-56.
- [4] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, E. D. Dunlop, D. H. Levi y A. W. Y. Ho-Baillie, «Solar cell efficiency tables (version 49),» *Progress in photovoltaics*, pp. 3-13, 2016.
- [5] A. Salavei, I. Rimmaudo, F. Piccinelli, P. Zabierowski y A. Romeo, «Study of difluorochloromethane activation treatment on low substrate temperature deposited CdTe solar cells,» *Solar Energy Materials & Solar Cells*, pp. 190-195, 2013.
- [6] S. H. Demtsu y J. R. Sites, «Effect of back-contact barrier on thin-film CdTe solar cells,» *Thin Solid Films*, nº 510, pp. 320-324, 2006.