

# Celdas Solares de n-Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S/p-CdTe

J. A. SCHMIDT <sup>\*a)</sup> y J. SAURA <sup>\*\*</sup>.

\* INSTITUTO BALSEIRO (UNC-CNEA)- (8400) BARILOCHE - RIO NEGRO

\*\* COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

CENTRO ATÓMICO BARILOCHE - (8400) BARILOCHE - RIO NEGRO

*e-mail: jschmidt@intec.unl.edu.ar*

## Abstract

Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S films have been prepared by coating and sintering. It was found that the optical gap of the films increases when Zn content does, but at the same time there was a decrease of microstructural, optical and electrical characteristics (grain size decreases, porosity enhances, transparency decreases, and resistivity increases). CdS/CdTe solar cells have been prepared and characterized by measuring its spectral response and I-V characteristics. The main factors contributing to the increase of the efficiency have been identified as a first step towards solar cell optimization.

## Resumen

Se prepararon capas de Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S por el método de pintado y sinterizado. Se encontró un aumento en el gap óptico del material al incrementar la concentración de Zn pero, al mismo tiempo, empeoraron las características morfológicas, ópticas y eléctricas de las muestras (disminuyó el tamaño de grano, aumentó la porosidad, disminuyó la transparencia y empeoró la conductividad). Se prepararon celdas CdS/CdTe, las cuales fueron caracterizadas a través de mediciones de respuesta espectral y característica tensión corriente. Se dió un primer paso hacia la optimización de las celdas identificando los factores que más contribuyen a aumentar su eficiencia.

## Introducción

La búsqueda de fuentes de energía alternativas que sean económicas, renovables e inofensivas para el medio ambiente ubica a la tecnología fotovoltaica como una de las más promisorias.

Dentro de los distintos sistemas que están siendo estudiados en la actualidad, la combinación n-Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S/p-CdTe ofrece características ventajosas en cuanto a la posibilidad de obtener eficiencias elevadas con procedimientos de fabricación sencillos y de bajo costo.

El CdTe es un semiconductor con un gap directo, lo cual le permite absorber la mayor parte de la luz incidente en una capa de unos pocos micrones. Esto posibilita el empleo de películas delgadas, con el consiguiente ahorro en materiales y en procedimientos de fabricación. Por otra parte, el gap de 1.45 eV se adapta muy bien al espectro solar en la

superficie terrestre.

Para formar una juntura con el CdTe se necesita un material que tenga:

- un gap elevado para evitar la absorción de luz útil para el absorbente,
- una estructura y un parámetro de red similares a los del absorbente,
- una afinidad electrónica mayor o igual a la del absorbente,
- un potencial químico muy distinto al del absorbente.

A su vez, este material debe poseer un alto grado de transparencia óptica y una resistividad lo más baja posible.

El CdS cumple bastante bien con estas condiciones, y es por ello que se lo utiliza en celdas CdS/CdTe. Sin embargo, sería conveniente poder usar un material con un gap mayor. Es por ello que se estudió el efecto de sustituir parte del Cd por Zn, para dar Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S.

<sup>a)</sup> Domicilio actual: Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC, UNL-CONICET) Güemes 3450, (3000) Santa Fe, Argentina.

## Preparación de las celdas

Para la deposición del  $Cd_{1-x}Zn_xS$  se empleó el método de pintado-sinterizado, que es simple, rápido y económico; pero que tiene el inconveniente que la calidad de las películas obtenidas es inferior a la que se logra con procedimientos de fabricación más sofisticados. Una descripción detallada del procedimiento de fabricación de estas películas se puede encontrar en un artículo anterior.<sup>1</sup>

Para la depositar la capa de CdTe se eligió el transporte isotérmico en fase vapor (Isothermal Close Space Vapor Transport, ICSVT).<sup>2-4</sup> Este método fue ideado y desarrollado en los laboratorios del Centro Atómico Bariloche, y produce películas de muy buena calidad en forma simple.

La celda se completó con los contactos; para el contacto al CdZnS se utilizó  $SnO_2$  mientras que para el CdTe se empleó grafito dopado con Cu.

La configuración final de las celdas se esquematiza en la figura 1.

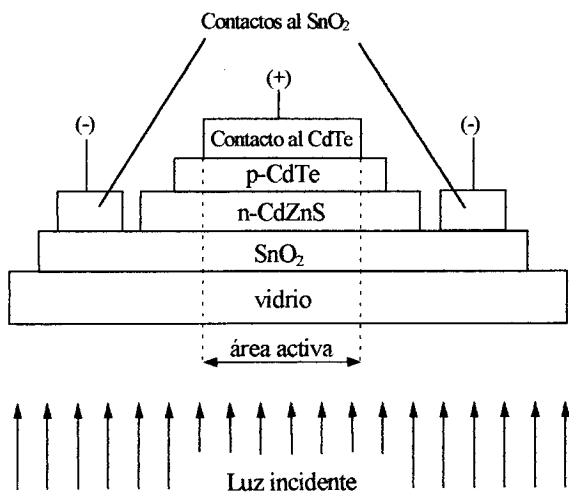


Figura 1: Esquema de la configuración utilizada en las celdas solares.

## Resultados

La caracterización de las capas individuales incluyó observaciones con

microscopía óptica y con microscopía electrónica de barrido (SEM), difractogramas de rayos X, estimaciones de composición mediante análisis de rayos X dispersivo en energías, mediciones de transmitancia óptica y mediciones de resistividad eléctrica.

Si bien se notó un incremento en el gap óptico del  $Cd_{1-x}Zn_xS$  al aumentar la concentración de Zn, las restantes propiedades sufrieron un creciente deterioro: disminuyó el tamaño de los granos y aumentó la porosidad, disminuyó la transparencia de las capas y aumentó la resistividad.<sup>1</sup> Es por ello que las celdas se prepararon sin el agregado de Zn.

La caracterización de las celdas involucró mediciones de respuesta espectral y característica tensión-corriente.

En la figura 2 se ve una respuesta espectral típica de una celda CdS/CdTe. En la zona de longitudes de onda cortas la respuesta comienza alrededor de  $513\text{ nm}$ , lo cual corresponde al gap del CdS. Sin embargo la respuesta es muy pobre en esta zona. Un comportamiento similar fue observado por Roh e Im<sup>5</sup> en sus celdas de CdS/CdTe hechas por sinterizado; y también por Vaccaro y Saura<sup>2</sup> en sus celdas de  $CdS_{\text{sinterizado}}/CdTe_{\text{ICSVT}}$ .

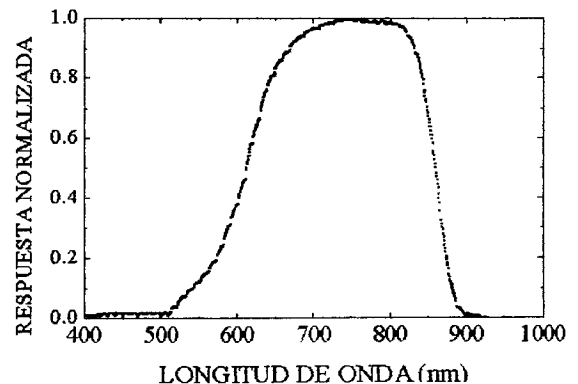


Figura 2: Respuesta espectral de una celda típica CdS/CdTe.

Una respuesta espectral como ésta parece indicar la presencia de una homojuntura enterrada en el CdTe (Fig. 3), en la que existe una zona de CdTe dopada tipo *n*. Como los fotones de mayor energía

son los que primero se absorben (el coeficiente de absorción aumenta con la energía), estos fotones crean pares electrón-hueco en la zona tipo *n* del CdTe. Por lo tanto los huecos, que en un semiconductor dopado tipo *n* son portadores minoritarios, deben difundir hacia

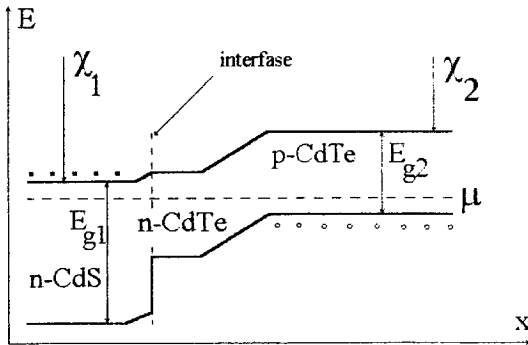


Figura 3: Esquema de bandas Energía vs posición para una homojuntura enterrada en el CdTe.

la zona con campo eléctrico para poder llegar al contacto posterior. Pero la longitud de difusión de los huecos en el CdTe es muy baja, en especial en esa zona tipo *n* donde hay muchas impurezas que facilitan la recombinación. Por eso, muchos de los portadores generados por los fotones de mayor energía se pierden, disminuyendo entonces la respuesta espectral en la zona de longitudes de onda cortas.

La característica tensión-corriente de este tipo de celdas se puede describir modelando a la celda como un diodo con una resistencia en serie y una resistencia en paralelo, y donde el efecto de la luz se tiene en cuenta como una fuente de corriente constante en oposición al diodo (Fig. 4). Entonces, la corriente medida (*I*) se relaciona con la tensión aplicada (*V*) mediante la fórmula:

$$I = \frac{V - IR_s}{R_{sh}} + I_s \left\{ \exp \left[ C(V - IR_s) - 1 \right] \right\} - I_L \quad (1)$$

donde  $R_s$  es la resistencia serie,  $R_{sh}$  es la resistencia paralelo,  $I_s$  es la corriente de saturación inversa,  $I_L$  es la corriente

fotogenerada y *C* es el llamado factor del diodo.

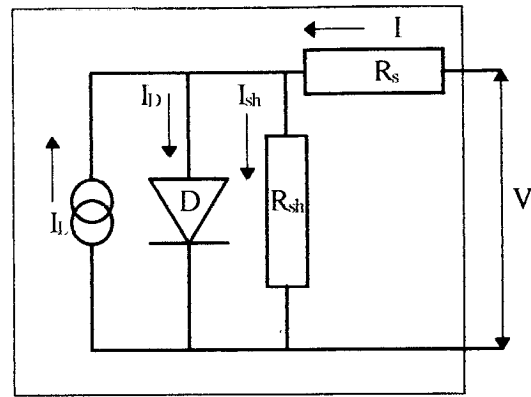


Figura 4: Esquema del circuito equivalente que modela el comportamiento de la celda, donde: *I*, corriente medida; *V*, tensión aplicada,  $I_L$ , corriente fotogenerada;  $I_D$ , corriente a través del diodo;  $I_{sh}$ , corriente que para por la resistencia en paralelo.

En la figura 5 puede apreciarse la característica I-V de una celda típica de CdS/CdTe, junto con los parámetros que surgen de realizar un ajuste con la fórmula (1). Como puede verse, los valores de eficiencia son muy bajos.

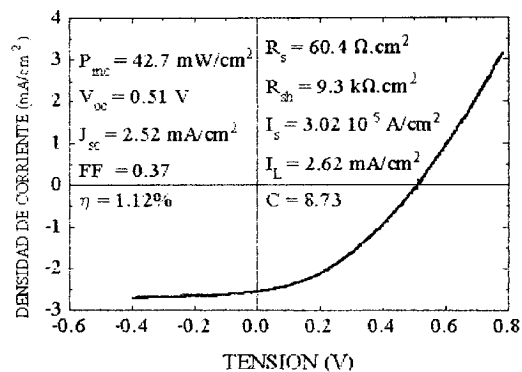


Figura 5: Característica tensión-corriente de una celda típica CdS/CdTe, con los parámetros que surgen de realizar un ajuste con la fórmula (1).

Para determinar cuáles son los parámetros que más necesitan ser mejorados se procedió a calcular la máxima eficiencia esperable en este tipo de celdas, considerando como espectro incidente el de la lámpara halógena empleada en la medición. Esta

eficiencia teórica se obtiene cuando:

- no se tienen pérdidas de luz por reflexión,
- no hay pérdidas de potencia por efectos resistivos ( $R_s = 0, R_{sh} = \infty$ ),
- cada fotón incidente con energía entre el gap del CdS y el gap del CdTe produce un portador que es colectado,
- la corriente de saturación inversa está controlada por procesos de generación-recombinación, con lo que se obtienen un factor del diodo  $C=19.76$  y una corriente de saturación inversa  $I_s = 3 \cdot 10^{-10} \text{ A/cm}^2$ ; <sup>6</sup> y resulta  $\eta=16.4\%$ ; con una corriente de cortocircuito (que es igual a la corriente fotogenerada porque no hay efectos resistivos)  $I_{sc}=I_L=10.1 \text{ mA/cm}^2$  y una tensión de circuito abierto  $V_{oc}=0.88 \text{ V}$ .

Comparando con los parámetros obtenidos en la figura 5 se aprecia que las principales diferencias entre la celda real y la teórica se encuentran en la corriente de saturación inversa ( $3.02 \cdot 10^{-5} \text{ A/cm}^2$  contra  $3 \cdot 10^{-10} \text{ A/cm}^2$ ) y en la corriente fotogenerada ( $2.62 \text{ mA/cm}^2$  contra  $10.1 \text{ mA/cm}^2$ ). Las pérdidas de luz por reflexión (que son aproximadamente del 10%) se pueden reducir utilizando una cubierta antireflectante; las pérdidas de eficiencia por efectos resistivos y debidas al área de los contactos se pueden minimizar. Es por ello que los parámetros más importantes son  $I_s$  e  $I_L$ . Una celda como la de la figura 5 llegaría a una eficiencia de 7.4% si se pudiese lograr la  $I_s$  teórica, aún manteniendo el resto de los parámetros iguales a los medidos. Inversamente, si en el cálculo teórico se usara el valor medido de  $I_s$ , la eficiencia caería al 4%. Una celda como la producida tendría una eficiencia superior al 11% con sólo lograr una corriente de saturación inversa dos ordenes de magnitud mayor a la teórica y una corriente fotogenerada que fuese la mitad de la teórica.

## Conclusiones

El agregado de Zn a la capa de CdS ocasiona más perjuicios que ventajas; porque si bien se logra el efecto esperado de aumentar el gap de la ventana, emporcan las propiedades ópticas y de transporte, como la transparencia y la conductividad.

Los cálculos anteriores de eficiencia ilustran sobre la necesidad de dirigir los esfuerzos de investigación futuros hacia reducir la corriente de saturación inversa  $I_s$  y aumentar la corriente fotogenerada  $I_L$ . Esto se puede lograr mejorando las propiedades eléctricas de las capas y las características de las interfaces. Una corriente de saturación inversa grande significa que existen muchos caminos de recombinación, como ser defectos puntuales, dislocaciones y bordes de grano. Por lo tanto para reducir  $I_s$  se puede aumentar el tamaño de grano, tratando de conseguir en lo posible granos columnares. En cuanto a la corriente fotogenerada, un factor que contribuye a que sea mucho menor que la teórica es la baja transparencia de las capas de CdS.

## Referencias

- <sup>1</sup> J. A. Schmidt y J. Saura, 'Películas Sinterizadas de  $Zn_{1-x}Cd_xS$  para Aplicaciones Fotovoltaicas', *Anales de la 79<sup>a</sup> Reunión Nacional de Física* (1994)
- <sup>2</sup> P.O. Vaccaro y J. Saura, *J. Mater. Sci. Lett.* **9**, 47 (1990).
- <sup>3</sup> P.O. Vaccaro, G. Meyer y J. Saura, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **24**, 1886 (1991).
- <sup>4</sup> J. Saura y P.O. Vaccaro, 'Procedimiento para la fabricación de celdas solares...', Patente CNEA Nro.241.558.
- <sup>5</sup> J.S. Roh y H.B. Im, *J. Matter. Sci.* **21**, 980 (1986).
- <sup>6</sup> A.L. Fahrenbruch *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **25**, 605 (1974).