

Caracterización de dispositivos de lámina delgada mediante microscopía óptica, electrónica de barrido y microanálisis

M.D. Bermúdez y G. Vázquez

Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Muralla de Mar. 30202 Cartagena
Teléfono: 968325958 Fax: 968326445. E-mail: mdolores.bermudez@upct.es

Resumen. En este trabajo se presentan los resultados de la aplicación de las técnicas de microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM), así como de microanálisis para la caracterización de dispositivos optoelectrónicos de lámina delgada.

1 Introducción

Desde el descubrimiento del primer dispositivo fotovoltaico de silicio basado en una unión p-n en 1954, la ciencia y tecnología de estos dispositivos ha experimentado un desarrollo revolucionario [1-3]. En la actualidad, la importancia de estos dispositivos para las tecnologías de las comunicaciones se pone de manifiesto por su uso generalizado en los satélites.

Uno de los problemas que se planteó desde el principio fue el elevado coste del silicio. Con el objeto de reducir la cantidad de silicio necesario y reducir los costes se desarrolló la tecnología de lámina delgada. ¿Por qué dispositivos de lámina delgada?. Algunas de las razones para entender el creciente uso de estos sistemas son las siguientes:

- Existe una gran variedad de procesos físicos, químicos, electroquímicos, de plasma e híbridos que permiten la obtención de una gran variedad de formas, tamaños y sustratos. Estos procesos permiten una eficiente conservación de energía y materiales y son, en general, respetuosos con el medio ambiente.

- En función de la técnica empleada, de los parámetros de deposición y del sustrato se puede controlar la microestructura de la lámina desde la amorfa o nanocristalina hasta la altamente orientada o de crecimiento epitaxial. Además, existe la posibilidad de pasivar las superficies y bordes de grano, así como de modificar las interfases mediante una capa barrera de difusión.

- La composición y, por tanto, el *bandgap* y otras propiedades electroópticas pueden graduarse en función de las características deseadas de reflectancia, transmisión, etc.

Además, en la tecnología aeroespacial las células de lámina delgada son especialmente prometedoras por su elevada proporción potencia /peso.

La gran sensibilidad de las propiedades de las láminas delgadas a los parámetros de deposición puede producir una multitud de defectos y resultados indeseados. De ahí la necesidad de un profundo

conocimiento y control de los materiales que forman estos dispositivos mediante el uso de técnicas de monitorización y análisis.

En este trabajo se han empleado las técnicas de microscopía óptica y electrónica de barrido para la caracterización de los materiales que forman un dispositivo fotovoltaico de lámina delgada (Fig. 1) [1].

El microscopio óptico es una de las herramientas más versátiles en un laboratorio de materiales semiconductores. Sin embargo, el microscopio óptico pierde su utilidad para tamaños por debajo de la micra. Para este rango se utilizan los microscopios electrónicos.

El microscopio electrónico de barrido (SEM) es similar al microscopio óptico con la diferencia de que utiliza haces de electrones en lugar de fotones. Esto conlleva dos ventajas principales: es posible alcanzar magnificaciones mucho mayores, ya que las longitudes de onda de los electrones son mucho menores que las de los fotones, y la profundidad de campo es mucho mayor. Las aplicaciones más comunes del SEM en semiconductores son la observación de la superficie y de las secciones transversales para determinar tamaños y realizar el análisis de fallos.

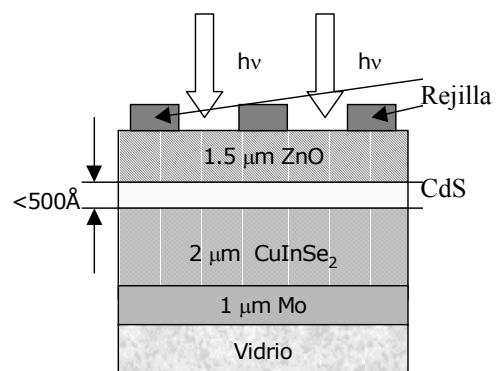


Fig. 1 Esquema de la célula de lámina delgada.

2 Materiales y métodos

Las células de lámina delgada utilizadas en este trabajo son del tipo: Vidrio/Mo/CuInSe₂/CdS/OCT, tal como se muestra en el esquema de la Fig. 1, donde el sustrato es de vidrio, el contacto metálico es de molibdeno (Mo), CuInSe₂ (CIS) es el absorbente, CdS es la capa amortiguadora y ZnO es el óxido conductor transparente (OCT). La bicapa CdS/OCT forma la capa de ventana.

Para la caracterización de los materiales se ha utilizado un microscopio óptico Leica DMRX y un microscopio electrónico de barrido Hitachi 3500N.

Cuando se inspeccionan dispositivos semiconductores es importante eliminar las cargas superficiales que aparecen cuando los electrones inciden sobre superficies aislantes. Para ello se recubren las muestras con una fina capa conductora, en este caso de carbono.

La sonda de microanálisis acoplada al SEM permite caracterizar los elementos químicos presentes en la muestra mediante la detección de los rayos X emitidos por la misma tras ser bombardeada con electrones.

3 Resultados

3.1. Microscopía óptica.

El estudio mediante microscopía metalográfica del contacto metálico de molibdeno reveló gran cantidad de microporos (Fig. 2) con un tamaño medio de 9 μm. La presencia de estas porosidades se debe a que el flujo de gas inerte, en este caso argón, durante la deposición es superior al óptimo. El control del flujo de argón es uno de los problemas más comunes en la deposición mediante pulverización catódica.

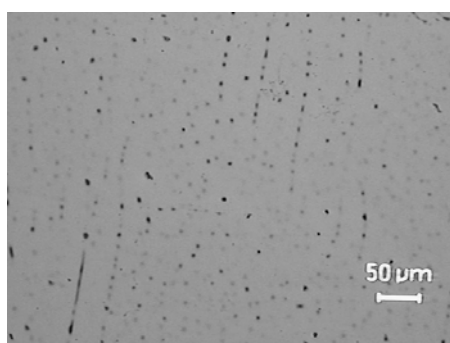


Fig 2. Micrografía óptica de la superficie de molibdeno mostrando microporosidades.

3.2. Microscopía electrónica de barrido.

3.2.1. Superficies y defectos superficiales.

La observación de la superficie de CIS mediante el microscopio electrónico pone de manifiesto una

distribución de tamaño de grano no homogénea (Fig. 3), así como la presencia de porosidades (Fig. 4).

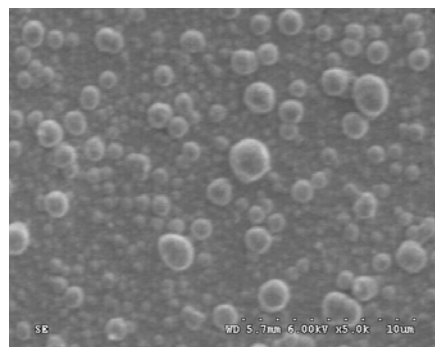


Fig 3. Micrografía electrónica de la superficie de la capa de CIS mostrando los granos (×5000).

Esta falta de homogeneidad (Fig. 3) se debe a la presencia de la fase Cu₂Se que se forma cuando la muestra se deposita con un ratio Cu/In>1, de forma que los granos más superficiales crecen debido al efecto de la fase secundaria. La formación de esta fase es necesaria para la optimización de las propiedades del absorbente en el dispositivo.

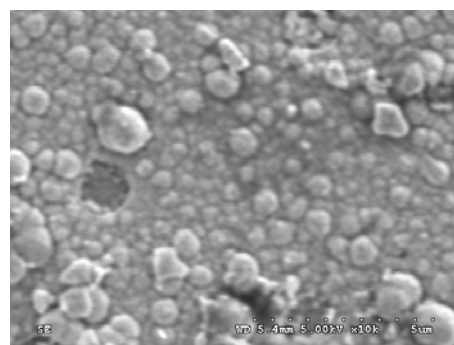


Fig. 4. Micrografía electrónica de la superficie de CIS mostrando microporosidades (×10000).

Los poros presentes en la capa superior de la superficie de CIS (Fig. 4) son provocados por el gas inerte en la etapa de pulverización catódica.

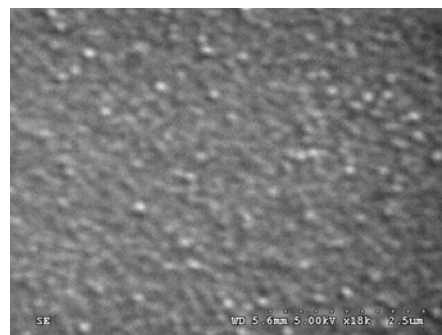


Fig. 5 Microscopía electrónica (×18000) de la superficie de la lámina de ITO.

En la Fig. 5 podemos observar con un gran número de aumentos la fina y homogénea estructura de la superficie de la capa de OCT.

Esta lámina de OCT presenta defectos debidos a que durante el proceso de deposición se ha utilizado una potencia de radiofrecuencia muy elevada. Esto conlleva a la aparición de zonas donde las tensiones son muy elevadas y dan lugar a deformaciones en forma de zig-zag (Fig. 6).



Fig. 6. Defectos en la lámina de OCT ($\times 5000$).

3.2.2. Secciones transversales y microanálisis.

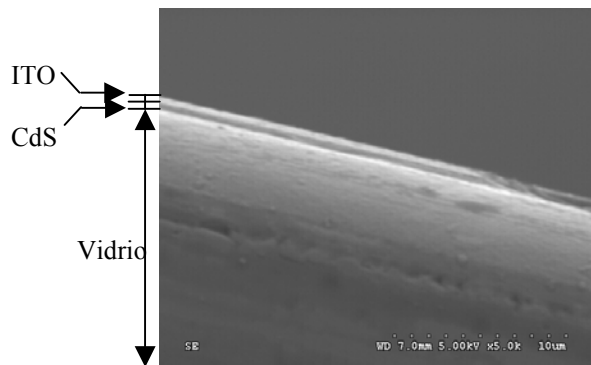


Fig. 7. Sección transversal de la capa de CdS-OCT ($\times 5000$).

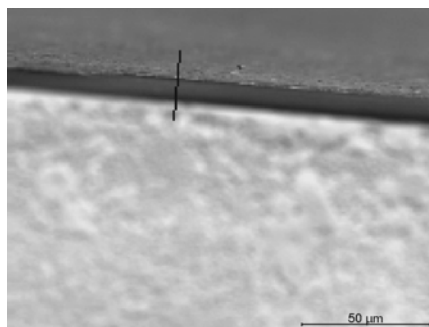


Fig. 8. Sección transversal de la muestra vidrio/Mo/CIS.

Las Figs. 7 y 8 nos muestran las micrografías electrónicas de las secciones transversales que nos permiten apreciar los espesores de las capas de CdS, OCT, molibdeno y CIS, respectivamente, pudiendo apreciarse los espesores de las mismas..

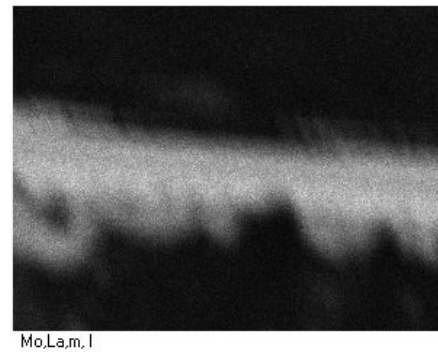


Fig. 9. Mapa elemental de molibdeno (gris) obtenido mediante el detector de rayos X.

Finalmente, la microsonda acoplada al SEM nos permite analizar los elementos presentes en cada muestra. Así, por ejemplo, la Fig. 9 muestra la presencia de la capa de molibdeno en la sección transversal.

4 Conclusiones

En este trabajo se han caracterizado los distintos materiales, que forman una célula fotovoltaica de lámina delgada, utilizando las técnicas de microscopía óptica, SEM y microanálisis para determinar estructuras, defectos superficiales, espesores y composiciones. Todos estos aspectos son determinantes para eficacia del dispositivo.

Agradecimientos

A la Dra. M. Angeles Martínez Calvo y al CIEMAT por su desinteresada colaboración en este estudio.

Referencias

- [1] G. Vázquez, "Dispositivos fotovoltaicos de lámina delgada. Caracterización microestructural". Proyecto Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Cartagena, 2001.
- [2] K.L. Chopra, P.D. Paulson, V. Dutta, "Thin films solar cells: an overview". Prog. Photovolt. Res. Appl. 2004, 12: 69-92.
- [3] A. Morales, "Thin film CdS/CdTe solar cells: research perspectives". Sol. Energy. 2006, 80: 675-681.