

ÓXIDO CONDUCTOR TRANSPARENTE PARA CONSTRUCCIÓN DE CELDAS SOLARES CdS/CdTe

Oswaldo Morales, Kléber Janampa, Octavio Cerón, Julio Oré
Wal23do@gmail.com

RESUMEN

En el mundo actual muchos investigadores tienen puesta la vista y esfuerzo hacia la preservación y cuidado del medio ambiente, ya que es notorio que tenemos contaminación a gran escala; una de las formas de contribuir al cuidado de medio ambiente es utilizando energías renovables como la energía solar mediante celdas solares. En el presente trabajo se construye y se caracteriza un electrodo conductor transparente en forma de una lámina fina, elaborado a base de óxido de estaño (SnO₂) que sirve como electrodo a las celdas solares que son construidos a base de sulfuro de Cadmio (CdS) y Teluro de cadmio (CdTe) depositados en forma de capas, con procedimientos de fácil ejecución y de bajo costo. Para la fabricación de este conductor transparente se requirió como mínimo un controlador de spray y un horno con temperatura controlable. Para la caracterización estructural de este conductor transparente (TCO) se tomó apenas las medidas eléctricas, la morfología, transparencia y distribución. No fueron posibles tomar medidas de difracción de rayos X; medidas de espectroscopia ultravioleta visible, entre otras, por las circunstancias de la pandemia que vive nuestra sociedad y porque estas medidas requieren un laboratorio de ciencia de materiales equipado como de la UNMSM o de la PUCP o de la UNI de la que tomábamos sus servicios en tiempos normales.

Palabras-Clave: Óxido conductor transparente, películas delgadas, TCO, Spray, sputtering.

TRANSPARENT CONDUCTIVE OXIDE FOR CONSTRUCTION OF CdS/CdTe SOLAR CELLS

ABSTRACT

In today's world, many researchers have their sights and efforts towards the preservation and care of the environment, since it is notorious that we have large-scale pollution; One of the ways to contribute to caring for the environment is by using renewable energy such as solar energy through solar cells. In the present work, a transparent conductive electrode is constructed and characterized, in the form of a thin sheet, made from tin oxide (SnO₂) that serves as an electrode for solar cells that are constructed from Cadmium sulfide (CdS) and cadmium tellurium (CdTe) deposited in the form of layers, with easy-to-manufacture and low-cost procedures. To manufacture this transparent conductor, at least a spray controller and a temperature-controllable oven were required. For the structural characterization of this transparent conductor (TCO), only the electrical measurements, morphology, transparency and distribution were taken. X-ray diffraction measurements were not possible; ultraviolet visible spectroscopy measurements, among others, due to the circumstances of the pandemic that our society is experiencing and because these measurements require a materials science laboratory equipped such as the UNMSM or the PUCP or the UNI from which we took their services in normal times.

Key Word: Transparent conductive Oxide, thin films, TCO, Spray, Sputtering.

INTRODUCCIÓN

Los óxidos conductores constituyen parte de una tecnología de películas delgadas (Afre, Sharma, & Sharon, 2018). Por sus propiedades de conductor y transparencia a la luz visible son ampliamente utilizados en la fabricación de celdas solares, displays, sensores, como dispositivos opto-eléctricos, etc. Son generalmente compuestos binarios o ternarios, que naturalmente puede contener uno o dos elementos metálicos en su composición. Su resistividad ($\Omega \cdot \text{cm}$) y su coeficiente de extinción (k) en la región de luz visible son del orden $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ y 0.001 , respectivamente. Su ancho de banda de energía prohibida del orden de 3.0 eV . Los óxidos tales como CdO, ZnO, SnO₂, In₂O₃ son conductores transparentes y cuando son procesados en forma de láminas delgadas (R, S, M.Savith, & M.Balachandar, 2013); la mejora de estas propiedades se consigue introduciendo impurezas, llamados dopantes. Los óxidos conductores transparentes (TCO) (Stadler, 2012) son estados intermedios entre los materiales que conducen luz y los semiconductores intrínsecos, altamente flexibles en ambas

características. Su conductividad se puede ajustar de aislante a semiconductor, al igual que su transparencia dopando con ciertos elementos como F, Ta, Ge, Ga, In, Al, B, etc.(Stadler, 2012). Los principales materiales que se utilizan como TCO son el óxido de estaño (SnO₂), el óxido de estaño dopado con Flúor (SnO₂:F), el óxido de indio (In₂O₃), óxido de Indio dopado con Germanio (In₂O₃Ge), con molibdeno (In₂O₃Mo), con flúor (In₂O₃:F) y el óxido de zinc (ZnO) y sus dopantes Al, Ga, B, F, Ge. Así existe una amplia variedad de óxidos conductores transparentes que pueden ser seleccionados según las necesidades específicas.

Existen varios métodos de formación de películas delgadas como el de evaporación o sublimación, consiste en calentar un material hasta su punto de fusión y generar un vapor, dicho vapor es transportado de la fuente al sustrato y se condensa formando una capa delgada sólida. Otro método es la pulverización catódica; esta técnica consiste en la interacción de un electrodo y un gas, lo cual produce un bombardeo de iones, de estas técnicas destacan dos: Sputtering (RF/DC) y deposición por haz de iones, con este bombardeo se pulveriza un material llamado blanco para

hacer saltar sus átomos, los cuales llegarán al sustrato para depositarse y formar una película delgada (Seshan, 2001). Un tercer método es la deposición por procesos químicos (McConnell & Wolf, 2012) donde los componentes de un vapor o un líquido reaccionan químicamente cerca de la superficie de un sustrato para formar una capa delgada. Para procesos con vapor, la técnica más utilizada es la Deposición Químico en Fase Vapor (CVD); este proceso consiste en una cámara reactor, dentro del cual se coloca el sustrato y los gases o reactivos; para activar estos componentes y se produzca una reacción, se necesita de un estímulo el cual puede ser temperatura, plasma, radiación electromagnética, etc. La deposición de película delgada, utilizando la técnica de pirolisis (Yang & Suo, 2019), consiste en la pulverización de una solución de sal metálica sobre un sustrato caliente, las gotas impactan en la superficie del sustrato, se extienden en una estructura en forma de disco y se someten a la descomposición térmica.

Respecto a la caracterización de las películas delgadas existen también varios métodos: entre ellos la difracción de rayos X (David, Shankland, McCusker, & Bärlocher, 2006) que permite ver el tamaño de grano de los cristalitas formados, la morfología de la superficie y el porcentaje de elementos componentes. La espectrofotometría UV-visible (van Bokhoven & Lamberti, 2016) es una técnica analítica que permite determinar el ancho de banda de energía prohibida del material y también la absorbancia y transmitancia del material. El microscopio electrónico de barrido permite la observación de la morfología del material. Finalmente, la Elipsometría es útil para la determinación de espesores de películas delgadas, y constantes ópticas de materiales como el índice de refracción, coeficiente de extinción, etc (Fujiwara & Collins, 2019).

MATERIAL Y MÉTODO

La muestra fue elaborado a partir de dióxido de estaño hidratado $\text{SnO}_2(2\text{H}_2\text{O})$ y fluoruro de amonio NH_4F de 99.9% de pureza ambas. La preparación consistió en que: 13.55 g de $\text{SnO}_2(2\text{H}_2\text{O})$ es disuelto en 8 ml de ácido clorhídrico HCl , agitando moderadamente a 90°C durante una hora y dejado en reposo. Paralelamente 0.776 g de NH_4F es disuelto en otros 8ml de ácido clorhídrico HCl a 90°C durante 30 minutos y dejado reposando. Las dos soluciones así preparadas se mezclan agitando moderadamente a 30°C , durante dos horas. Finalmente se agrega etanol hasta que la mezcla total llegue a 100 ml, manteniendo en agitación más una hora, y dejar reposando por 24 horas. El horno eléctrico fue elaborado utilizando material refractario y cerámica de la localidad de Quinua; la resistencia eléctrica de $17\ \Omega$ fue empotrada tallando canaletas en la cerámica, adicionando un variador de tensión AC, un spray, etc. El horno alcanza temperatura mayor a 500°C y su potencia es mayor a 500 Watts.

Este horno fue previamente calentado con corriente alterna de 80 voltios por 15 minutos junto con el vidrio, ver figura 1. La fabricación de la lámina conductora transparente de $\text{SnO}_2:\text{F}$ fue realizado por el método de Spray; se calentó el vidrio de microscopio a 420°C en el horno, luego la solución precursora preparada fue sprayado, cada minuto, desde una altura de 26 cm por un intervalos de 1 segundo durante 4 minutos en total.

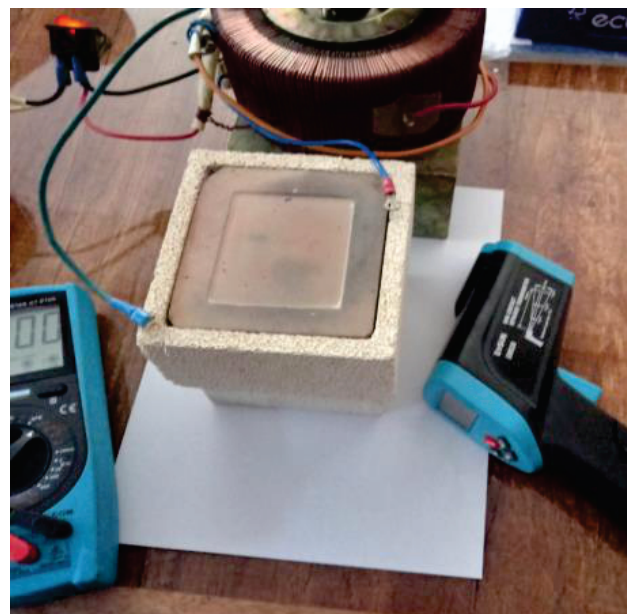


Figura 1. El horno conectado al variador de tensión AC, equipado con termómetro infrarrojo y multímetro.

Después de 2 repeticiones, se le deja a esta temperatura por unos 5 minutos y luego se le desconecta el horno para el enfriamiento natural de la lámina conductora, ver figura 2.

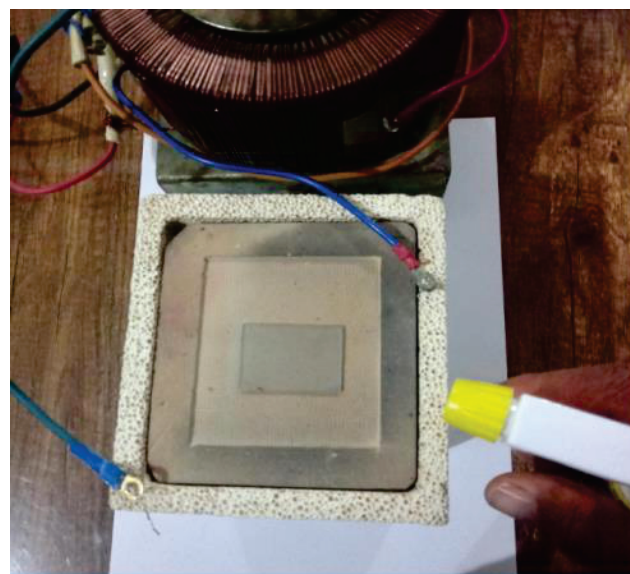


Figura 2. Horno a 420°C depositando oxido conductor transparente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la deposición fueron obtenidos capas finas de óxido conductor transparente como muestra la figura 3; la resistencia de hoja de estos conductores fueron del orden de $18\ \Omega/\square$ pues la distribución de la muestra fue casi homogéneo. Este valor bajará cuanto más homogéneo es la muestra y tiempo adecuado el tratamiento térmico.



Figura 3. Lamina de óxido conductor transparente depositado.

Para probar la conductividad del óxido conductor transparente se ha utilizado varios pares de puntos diferentes, el valor de la conductividad depende de la distancia entre estos puntos, ver figura 4. Según la literatura para este material, la Transmitancia está entre 320 nm y 1100 nm que cubre espectro visible. Por el contexto actual en que vivimos, este trabajo ha sido afectado en la parte experimental, específicamente no fueron posibles acceder a los servicios de laboratorios de la UNMSM o PUCP para hacer las mediciones de Ultravioleta visible, difracción de rayos X, etc.

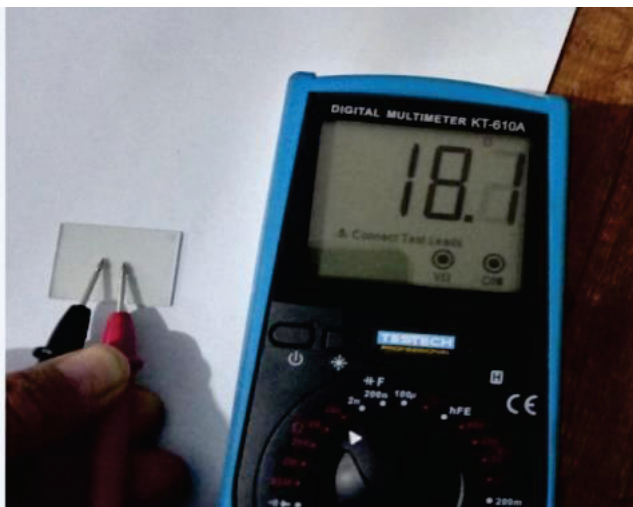


Figura 4. Prueba de conductividad del óxido conductor depositado.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en este trabajo, llegamos a las siguientes conclusiones:

- El óxido conductor transparente elaborado en este trabajo tiene una resistencia de hoja de orden de $18 \Omega/\square$ adecuado para el uso como electrodo en la construcción de celdas solares CdS/CdTe a nivel de investigación formativa y de laboratorio.
- El uso de materiales y componentes de muy bajo costo en este trabajo, en el proceso de deposición de este óxido conductor transparente, muestran que es posible la adaptación de tecnologías avanzadas en la región y por

ende el desarrollo tecnológico.

- La caracterización más amplia de este material, dependen del acceso a los laboratorios equipados con Difractómetro de rayos X, Espectrómetro Ultravioleta visible, Fluorescencia de rayos X, etc., del que nuestra universidad carece.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Afre, R., Sharma, N., & Sharon, M. (2018). Transparent Conducting Oxide Films for Various Applications: A Review. *Reviews on Advanced Materials Science*, 53, 79-89. doi: 10.1515/rams-2018-0006
- David, W. I. F., Shankland, K., McCusker, L. B., & Bärlocher, C. (2006). *Structure Determination from Powder Diffraction Data*: OUP Oxford.
- Fujiwara, H., & Collins, R. W. (2019). *Spectroscopic Ellipsometry for Photovoltaics: Volume 2: Applications and Optical Data of Solar Cell Materials*: Springer International Publishing.
- McConnell, R. D., & Wolf, S. A. (2012). *Science and Technology of Thin Film Superconductors*: Springer US.
- R, P., S, R., M.Savith, & M.Balachandar. (2013). Review of physical vapour deposition (pvd) techniques.
- Seshan, K. (2001). *Handbook of Thin Film Deposition*: Elsevier Science.
- Stadler, A. (2012). Transparent Conducting Oxides—An Up-To-Date Overview. *Materials*, 5, 661-683. doi: 10.3390/ma5040661
- van Bokhoven, J. A., & Lamberti, C. (2016). *X-Ray Absorption and X-Ray Emission Spectroscopy: Theory and Applications*: Wiley.
- Yang, G. J., & Suo, X. (2019). *Advanced Nanomaterials and Coatings by Thermal Spray*: Elsevier Science.