

PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS DE SELENIURO DE INDIO PARA APLICACIONES FOTOVOLTAICAS

ORNELAS ACOSTA R. E.^{1*}, SHAJI S.^{1,2}, AVELLANEDA D.¹, CASTILLO A.¹, DAS ROY T. K.¹ Y KRISHNAN B.^{1,2}

¹Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. ²CIIDIT-UANL, Apodaca, N.L., México. rauleoa@gmail.com

Resumen

Películas delgadas de seleniuro de indio (In_xSe_y) fueron preparadas usando un método de bajo costo y no tóxico. El método involucra el tratamiento térmico de capas precursoras de In/Se depositadas en un sustrato de vidrio. Una película de indio depositada por evaporación térmica sobre un sustrato de vidrio y películas delgadas de selenio fueron depositadas a partir de un baño químico que contenía selenosulfato de sodio y ácido acético. Las películas fueron caracterizadas usando difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica de barrido (MEB) empleado con un analizador de energía dispersiva de rayos X (EDAX) y espectrómetro UV-Vis-NIR. La respuesta de fotocorriente fue medida utilizando una fuente picoametro/voltaje y una lámpara de tungsteno.

Palabras clave: Películas delgadas, seleniuro de indio, selenización, depósito baño químico, evaporación térmica.

1. Introducción

Los materiales semiconductores de la familia III/VI poseen propiedades atractivas para aplicaciones en optoelectrónica y dispositivos fotovoltaicos (1). El seleniuro de indio es un semiconductor perteneciente a esta familia y ha sido estudiado recientemente debido a su potencial aplicación como capa absorbidora en dispositivos fotovoltaicos (2) y como material tipo ventana (3). Este compuesto ha sido preparado usando varias técnicas como coevaporación (4), metalorganic chemical vapor deposition (MOCVD) (5), evaporación térmica (6), electrodeposición (7), sol-gel (8) y depósito por baño químico (CBD) (9). En todos los procesos se utiliza vapor de selenio o se requiere de un tratamiento térmico en la presencia de una atmósfera de selenio. Esto es una gran desventaja, debido a que los vapores de selenio son muy tóxicos.

En el presente trabajo se obtendrán películas delgadas de seleniuro de indio por tratamiento térmico de una multicapa de selenio depositada por baño químico sobre indio evaporada térmicamente sobre un sustrato de vidrio, sin usar vapores de selenio.

2. Procedimiento experimental

El proceso de preparación de películas delgadas de seleniuro de indio involucra tres etapas. La primera etapa fue la preparación de la capa de indio, la segunda etapa fue la preparación de la capa de selenio y la tercera etapa involucra el tratamiento térmico de las dos capas. Los sustratos utilizados fueron portaobjetos de vidrio de 25 mm x 75 mm x 1 mm, los cuales se limpiaron usando un detergente neutro seguido de un lavado en agua destilada.

Inicialmente una capa de indio de 200 Å fue depositada sobre un sustrato de vidrio usando la técnica de evaporación térmica en alto vacío (10^{-5} Torr).

Subsecuentemente se depositó una película de selenio utilizando la técnica por baño químico a partir de una solución que contenía 10 ml Na_2SeSO_3 (0.1 M), 2 ml CH_3COOH al 25% y 70 ml agua destilada. La película de indio fue inmersa en la solución durante 5 minutos a temperatura ambiente (27°C).

Las muestras Vidrio/In/Se fueron horneadas a 200°C y 300°C en atmósfera de N_2 (10^{-1} Torr) durante 30 minutos. Las muestras fueron nombradas como IS1 (sin tratamiento), IS2 (horneado a 200°C) e IS3 (horneado a 300°C).

Las películas fueron caracterizadas utilizando diferentes técnicas. Las propiedades estructurales de las muestras fueron examinadas por difracción de rayos X (XRD). La morfología fue estudiada usando un microscopio electrónico de barrido (SEM) (modelo JSM-6510 LV marca JEOL) y el análisis composicional fue obtenido utilizando un analizador de energía dispersiva de rayos X (EDAX). Las propiedades ópticas fueron estudiadas usando la transmitancia y absorción óptica recolectada por un espectrómetro UV-Vis-NIR (modelo EPP2000 StellarNet). La respuesta de fotocorriente fue medida usando una fuente Picoametro/Voltaje (Keithley 6487).

3. Resultados y discusión

Las muestras fueron analizadas por XRD y se observó que la muestra horneada a 300°C forma el compuesto In_6Se_7 (PDF #25-0385), todos los picos coinciden con el compuesto de estructura monoclinica In_6Se_7 , además de que el indio metálico desapareció completamente, en cambio, la muestra IS2 mantiene una pequeña cantidad de indio metálico comparada con la IS1. La figura 1 muestra los difractogramas de rayos X de las películas depositadas en los sustratos de vidrio, así como los respectivos planos cristalinos de difracción.

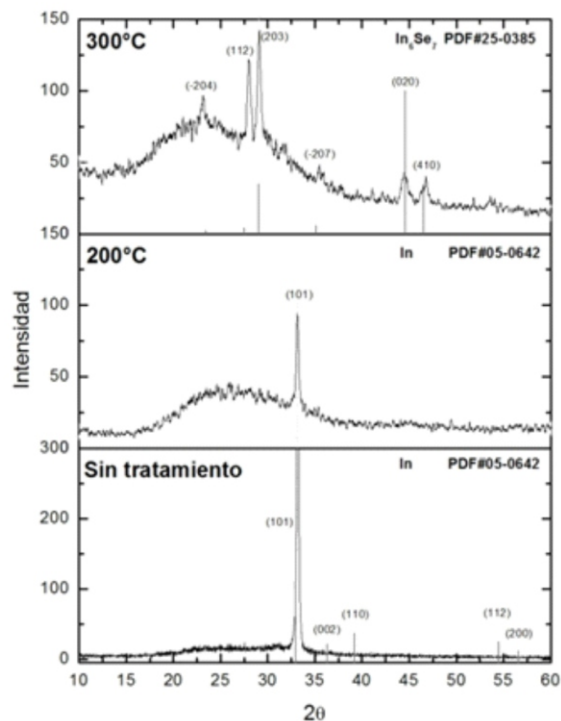


Figura 1. Difracción de rayos X de muestras IS1, IS2 e IS3.

La morfología de las películas fue analizada con SEM. La figura 2a muestra la película de indio depositada en la cual se observa una morfología esférica. La figura 2b se muestra las capas In/Se depositadas sin darle tratamiento térmico; la morfología sigue manteniéndose esférica, y se percibe una superficie uniforme con partículas de selenio dispersas. En la figura 2c se muestran las capas horneadas a una temperatura de 200°C; se observa que las partículas de selenio se integraron dentro de los granos de indio. Al hornearse las películas a 300°C (figura 2d) se observó que las partículas de selenio integradas a los granos de indio crecieron con respecto a las muestras horneadas a una temperatura más baja. Además se hizo un microanálisis elemental por EDAX y se determinaron semicuantitativamente cantidades de indio y selenio en la muestra (tabla 1).

Tabla 1. Microanálisis elemental por EDAX de películas delgadas de seleniuro de indio

Muestras	In (%at)	Se (%at)	Se/In
IS1	62.7	37.3	0.59
IS2	67.7	32.3	0.48
IS3	63.9	36.1	0.56

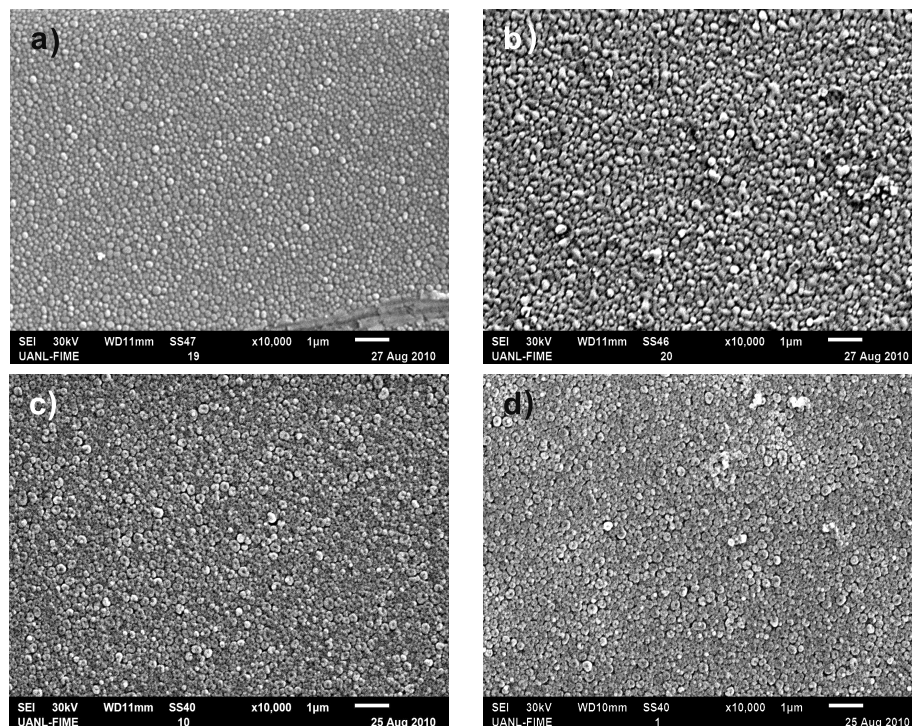


Figura 2. Imágenes de SEM de películas delgadas de a) Indio, b) muestra IS1, c) muestra IS2, d) muestra IS3.

La figura 3 muestra el espectro de transmitancia de las muestras IS2 e IS3 en el rango de longitud de onda de 500-1000 nm. Se observa que la película IS2 tiene un porcentaje menor de transmitancia que la muestra IS3. La brecha de energía de las películas fue calculada con la ayuda del espectro de absorción. La teoría de absorción proporciona una relación entre el coeficiente de absorción, α , y la energía del fotón, $h\nu$, para semiconductores de transición directa, de la siguiente forma:

$$\alpha = \frac{A(h\nu - E_g)^{1/2}}{h\nu} \tag{1}$$

donde E_g es la brecha de energía y A es una constante. La figura 4 muestra la gráfica $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ en la cual al extrapolar la porción lineal de la curva al eje de la energía para una absorción cero se obtiene la brecha de energía para la muestra IS3 la cual es de 2.1 eV.

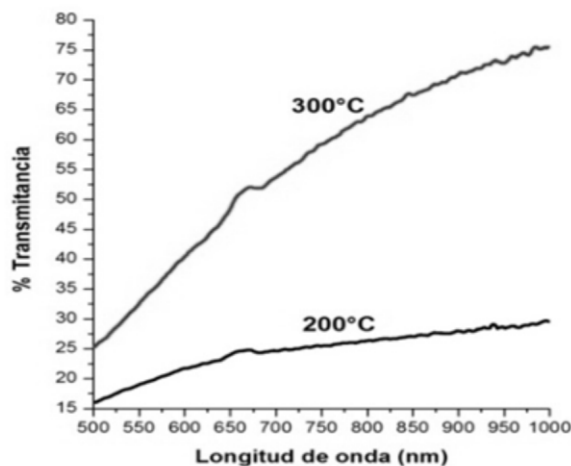


Figura 3. Transmitancia muestras IS2 e IS3.



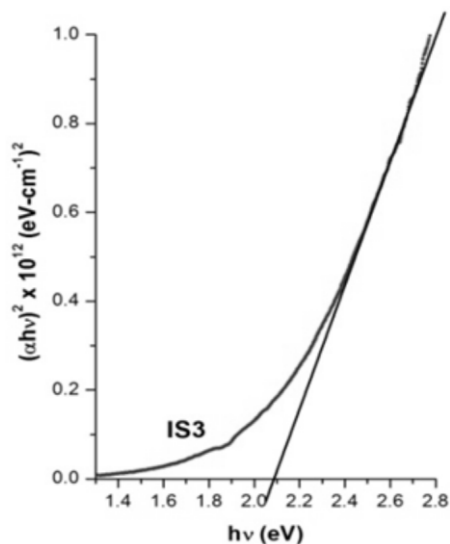


Figura 4. Gráfica de $(\alpha hv)^2$ versus $h\nu$

Se midieron las propiedades eléctricas de fotocorriente y resistencia eléctrica de las películas horneadas, las cuales presentan fotosensibilidad, es decir, se tiene un incremento en la corriente cuando se incide luz sobre la muestra. Los datos de las mediciones de corriente en iluminación y oscuridad para las muestras IS2 e IS3 se muestran en la tabla 2. El valor de corriente es mayor para la muestra IS3, además de que su resistencia eléctrica es menor con respecto a la muestra IS2. En la figura 5 se muestra la fotorespuesta de las muestras IS2 e IS3, donde se observa que durante la oscuridad se mantiene casi constante el valor de corriente, sin embargo, al incidirle luz, la corriente va aumentando gradualmente conforme va pasando el tiempo.

Tabla 2. Propiedades eléctricas de películas delgadas de seleniuro de indio.

Se/In	Fotocorriente (Amps)		Resistencia eléctrica (Ω)		
	Oscuridad	Luz	Oscuridad	Luz	
IS2 (350 V)	0.48	2.76×10^{-10}	8.42×10^{-10}	1.27×10^{12}	4.16×10^{11}
IS3 (150 V)	0.56	7.35×10^{-9}	7.65×10^{-9}	2.04×10^{10}	1.96×10^{10}

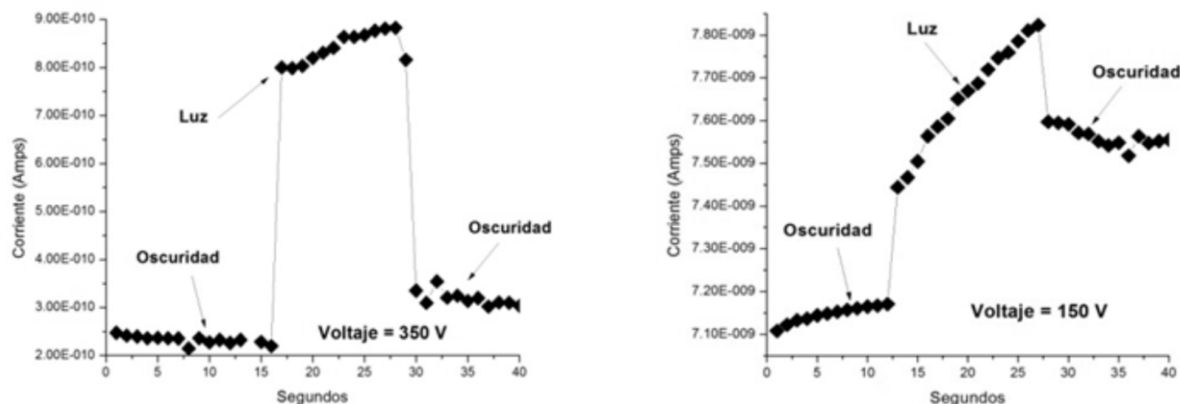


Figura 5. Fotorespuesta a) IS2, b) IS3.

4. Conclusiones

Se obtuvieron películas delgadas In_6Se_7 , mediante un proceso de tres etapas, sin la utilización de vapores de selenio. En el depósito por baño químico fue necesario un tiempo de exposición de 5 minutos para formar el compuesto In_6Se_7 . De los estudios de difracción de rayos X se encontró que la muestra IS2 mantiene un porcentaje de indio metálico, lo cual hace que su transmitancia sea baja debido a que refleja gran parte del espectro, en cambio la muestra IS3 forma completamente el compuesto In_6Se_7 , y se obtuvo un valor de brecha de energía de 2.1 eV. Las dos películas horneadas mostraron fotorespuesta y se observó que conforme aumenta la temperatura de horneado aumenta la corriente y disminuye la resistencia eléctrica. Este tipo de películas pueden llegar a utilizarse como material primario para su uso en aplicaciones fotovoltaicas, en especial, la película IS3 puede utilizarse como material tipo ventana.

5. Referencias

- [1] M. Afzaal et al (2005): Metal-organic chemical vapor deposition of indium selenide films using a single-source precursor. *Materials Science and Engineering B*, 116, 391-394.
- [2] A. Ates et al (2008): Annealing and light effect on optical and electrical properties of evaporated indium selenide thin films. *Physica E*, 40, 2709-2713.
- [3] G. Gordillo and C. Calderón (2003): CIS thin film solar cells with evaporated InSe buffer layers. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 77, 163-173.
- [4] C. H. de Groot and J. S. Moodera (2001): Growth and characterization of a novel In_2Se_3 structure. *Journal of Applied Physics*, 89 (8), 4336-4340.
- [5] In- Hwan Choi and Peter Y. Yu (2003): Properties of phase-pure InSe films prepared by metalorganic chemical vapor deposition with a single-source precursor. *Journal of Applied Physics*, 93 (8), 4673-4677.
- [6] N. El-Kabnay et al (2008): Optical and physical properties of different composition of $\text{In}_x\text{Se}_{1-x}$ thin films. *Physica B*, 403, 31-36.
- [7] S. Gopal et al (2004): Conduction Studies on Electrodeposited Indium Selenide Thin Films. *Ionics*, 10, 300-303.
- [8] Ibrahim H. Mutlu et al (2007): Indium selenide thin film preparation by sol-gel technique. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 43, 223-226.
- [9] H. M. Pathan et al (2005): Preparation and characterization of indium selenide thin films from a chemical route. *Materials Chemistry and Physics*, 93, 16-20.

