

## Preparación de muestras de $Cd_{1-x}Mn_xTe$ por erosión catódica de radio frecuencia

M. Becerril\*, O. Zelaya-Angel,  
Departamento de Física, CINVESTAV-IPN, Apdo. Postal 14-740 07000 México, D.F., México

J. R. Vargas-García,  
\*Departamento de Ingeniería Metalúrgica, IPN,  
Apdo. Postal 75-874, 07300 D.F. México, México

R. Ramírez-Bon  
Laboratorio de Investigación en Materiales, CINVESTAV-IPN, Unidad Querétaro,  
Apdo. Postal 1-798 Querétaro, Qro. México

Películas semiconductoras policristalinas de fueron crecidas por la técnica de erosión catódica de radio frecuencia sobre substratos de vidrio Corning 7059 a temperatura ambiente a partir de un blanco de CdTe-Mn. Pequeñas laminillas de Mn fueron colocadas sobre la superficie del blanco de CdTe cubriendo pequeñas áreas. Las propiedades ópticas y estructurales de las películas fueron estudiadas como una función de la concentración de Mn. Se encontró que cuando el Cd es sustituido en la red de CdTe por Mn, la brecha de energía de aumenta hasta alcanzar un valor de 1.64 eV, para un valor de  $x=0.03$ . De estos resultados se puede concluir que es factible obtener un compuesto ternario de  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  por co-erosión catódica a partir de un blanco de CdTe-Mn.

Polycrystalline  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  films were grown at room temperature on Corning glass 7059 substrates by radio frequency sputtering from a CdTe-Mn target. Small thin plates of elemental Mn covering small areas were glued onto the target. The optical and structural properties of the films were analyzed as a function of the Mn concentration. When the manganese is incorporated to CdTe lattice, we find that band gap energy increases to 1.64 eV at  $x = 0.03$ . We can conclude that it is possible to growth  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  ternary compound by radio frequency sputtering using CdTe-Mn target.

Keywords : semiconductores II-VI, películas delgadas, CdMnTe, erosión catódica, ancho de banda.

### 1. Introducción

El  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  es un compuesto ternario que pertenece a un grupo de materiales referidos como "semiconductores semimagnéticos", es decir, materiales en las cuales un componente es un semiconductor ordinario y el segundo es un semiconductor magnético [1]. En esta mezcla cristalina la energía de la capa 3d semillena del ion  $Mn^{2+}$  permanece abajo del máximo de la banda de valencia y el primer estado excitado d permanece arriba del mínimo de la banda de conducción. La estructura de banda en el centro de la zona de Brillouin permanece imperturbado por la interacción con los electrones 3d. En la ausencia de campo magnético la mezcla de cristales  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  se comporta como un típico semiconductor. Sin embargo, cuando el campo magnético está presente, el promedio térmico de la componente del operador de spin a lo largo del campo,  $\langle S_z \rangle$ , no es cero [2].

En principio, cualquier semiconductor en el cual una parte de la red es reemplazada por un ion magnético puede ser visto como un semiconductor magnético diluido (SMD). Hasta ahora los más investigados son  $Hg_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Hg_{1-x}Mn_xSe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  y  $Zn_{1-x}Mn_xTe$  [3]. Todos estos compuestos semiconductores pertenecen al grupo II-VI. La mezcla cristalina  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  es una solución sólida substitucional en la cual átomos de Mn

reemplazan átomos de Cd en una subred catiónica fcc. La distribución de iones Mn en la red puede estar completamente al azar o desviarse en una distribución estadística. El reemplazo de elementos del grupo II con Mn produce cambios cuantitativos significativos en la brecha de energía del material, que a su vez afecta sus propiedades eléctricas y ópticas [4].

El propósito de este trabajo es variar la concentración de Mn en el compuesto ternario  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  con el objeto de modular la energía de la brecha de este semiconductor semimagnético. También se estudia la estructura cristalina y la absorción óptica para observar la variación del ancho de banda prohibida como función de  $x$ .

### 2. Detalles experimentales

Películas de  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  fueron crecidas sobre substratos de vidrio Corning 7059 a temperatura ambiente en un sistema de erosión catódica de radio frecuencia. La potencia de radio frecuencia (r.f) fue de 25 W y la distancia de separación entre el blanco y el substrato fue de 4 cm. La presión base de la cámara fue de  $2 \times 10^{-6}$  torr y la presión de depósito fue de 10 mtorr. El gas utilizado para el depósito fue argón de ultra alta pureza. Los crecimientos se hicieron a partir de un blanco de CdTe-Mn-Cd. El Cd y Mn (ambos de 99.99% pureza) se colocaron sobre el blanco de CdTe y

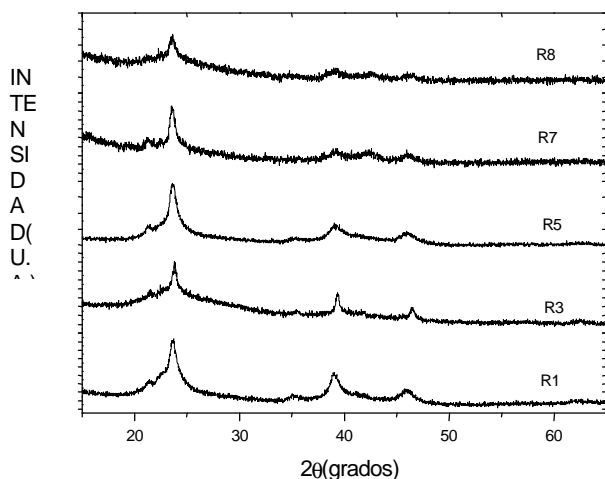


Figura 1. Espectros de difracción de rayos-x para las muestras R1, R3, R5, R7 y R8.

por co-erosión catódica fueron depositados sobre los substratos. El objetivo de poner Cd extra es con la finalidad de crear una sobrepresión de Cd para evitar las vacancias de cadmio durante la formación de las películas de  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  [5]. El área del Mn sobre la superficie del blanco fue variando para cubrir el 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6% y el 8% del área total del blanco, muestras R1-R8, respectivamente. El área del Cd sobre la superficie del blanco se mantuvo fijo en 4% en todos los crecimientos. El blanco de CdTe (99.999% pureza) tiene un área de 4.92  $cm^2$ . Las piezas de Cd y Mn, de aproximadamente 4  $mm^2$  de área, se distribuyeron lo mas uniformemente posible sobre la superficie del blanco de CdTe. El contenido de Cd, Te y Mn sobre las películas se determinaron por la técnica de EDS (Energy Dispersive x-Ray Spectroscopy) en un microscopio electrónico de barrido JSM-6300. La estructura cristalina de las películas se determinaron por difracción de rayos-x, (DRX) usando un equipo SIEMENS D5000 con un blanco de Cu ( $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ ). Los espectros de absorción óptica se obtuvieron por medio de un espectrofotómetro UNICAM 8700 UV/VIS en el intervalo de 400-900 nm.

**3. Resultados y discusiones**

Los espectros de DRX de las muestras R1, R3, R5, R7, R8 son mostrados en la figura 1. Las reflexiones características para la fase cúbica del CdTe [6,7] son observadas en  $2\theta = 23.6^\circ$ ,  $39.2^\circ$  y  $46.4^\circ$  correspondiendo a los planos (111), (220) y (311) respectivamente. También, se observa en las muestras R8 y R9 pequeños picos relacionados a la fase hexagonal del CdTe en  $2\theta = 22.5^\circ$  y  $42.5^\circ$  correspondientes a los planos (002) y (100) respectivamente. La aparición de esta fase hexagonal se debe probablemente a la distorsión que sufre la red del CdTe al incorporarse átomos de Mn. A pesar de la diferente calidad cristalina en los diferentes patrones de DRX, estos indican la naturaleza policristalina de las películas. Los

valores de concentración de Cd, Te y Mn por análisis EDS se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones en % At. De Cd, Te y Mn presentes en las 5 muestras estudiadas.

MUESTRAS	% At. Cd	% At. Te	% At. Mn
R1	45.2	54.8	0.0
R3	45.3	53.9	0.8
R5	42.6	55.4	2.0
R7	42.4	54.6	3.0
R8	42.0	55.8	2.2

Como puede verse el valor nominal de Mn no coincide con el valor EDS obtenido, esto se debe a que básicamente en la técnica de erosión catódica no conservan por lo general las estequiometrías del blanco. La figura 2 muestra el espectro de la derivada de la absorbancia para las muestras R1, R3, R5, R7, R8; tal como resultan del experimento El mínimo de estas curvas define el punto de inflexión de las curvas de absorción óptica y de esta manera el valor de la energía de la brecha,  $E_g$  (eV). Este criterio ha sido usado en anteriores trabajos [6]. Para las muestras R1-R8 se tiene un valor de 1.48, 1.52, 1.64, 1.64 y 1.6 eV, respectivamente. Realmente para una mejor definición del mínimo en la curva de la primera derivada de la absorción óptica, las curvas experimentales fueron suavizadas, y luego en estas curvas se calculó la segunda derivada. La posición donde la segunda derivada posee un mínimo (la intersección con el eje de longitud de onda) define con mucha precisión el valor buscado, con una incertidumbre relativa no mayor del 5% [7]. Considerando el valor  $E_g$  de 1.49 eV para el CdTe puro. Se tiene un corrimiento hacia mayores energías a medida que las muestras tienen mayor concentración de Mn. El hecho de que la muestra R8 presente menor valor  $E_g$  se debe a que esta muestra tiene menor por ciento atómico nominal de Mn en la red a pesar de que se creció con mayor por ciento en área de Mn relativa al blanco. Esto puede ser originado por el mal contacto eléctrico entre la laminilla de Mn y la pastilla-blanco de CdTe.

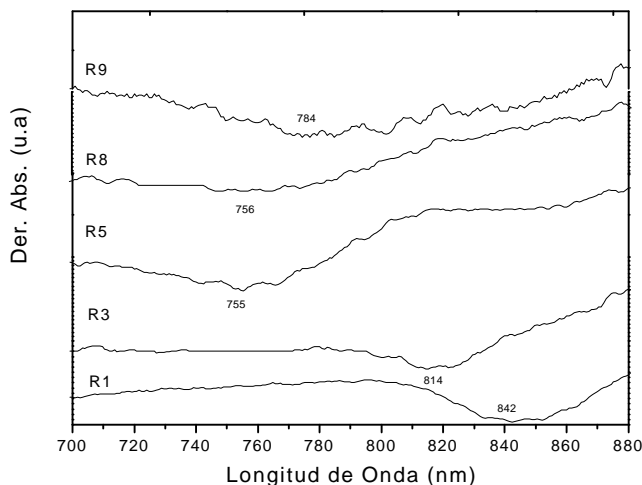


FIG. 2. Derivada de la absorbancia vs longitud de onda para las muestras R1, R3, R5, R7 y R8.

## Conclusiones

En resumen, en este trabajo se ha obtenido en compuesto semiconductor semimagnético,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ , a partir de la técnica de co-erosión catódica. La introducción de Mn dentro de la red del CdTe se hizo a partir de un blanco de CdTe-Mn. El intervalo de composición del  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  fue de  $x=0.0 - 0.03$ . La presencia de Mn dentro de la red del CdTe modifica las propiedades ópticas del material. De esta manera se logró incrementar la energía del ancho de la banda prohibida del material, desde 1.49 eV para el CdTe puro ( $x=0.0$ ), hasta 1.64 eV para  $x=0.03$ .

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los Ings. M. Guerrero, H. Silva-López y A.B. Soto-Guzmán por su asistencia técnica. Este trabajo fue apoyado financieramente por Conacyt, México.

## Referencias

- [1]. J. K. Furdyna. *J. Appl. Phys.* **53**, 7637 (1982).
- [2]. A.K. Ramdas. *J. Appl. Phys.* **53**, 7649 (1982).
- [3]. Yasuo Oka. *Phys. Solid State* **40** (5), Mayo (1998).
- [4]. N. Bottka, J. Stankiewics and W. Giriat. *J. Appl. Phys.* **52**, 4189 (1981).
- [5]. M. Becerril, O. Zelaya-Angel, R. Ramírez-Bon, F. J. Espinoza-Beltrán y J. González-Hernández. *Appl. Phys. Lett.* **70**, 452 (1997).
- [6]. R. Ramírez-Bon, F.J. Espinoza-Beltrán, H. Arizpe-Chavez, O. Zelaya-Angel y F. Sánchez-Sinencio. *J. Appl. Phys.* **77**, 5461 (1995).
- [7]. O. Alvarez-Fregoso, O. Zelaya-Angel y J. Mendoza-Alvarez. *Thin Solid Films.* **317**, 330 (1998).