

Propiedades ópticas, estructurales, y eléctricas de películas delgadas de ZnO - Mg preparadas por el método sol - gel

Optical, structural and electrical properties of ZnO - Mg thin films prepared by sol-gel method

Alex Díaz¹ | Karina Alva² | Gilda Casanova² | Paul Acevedo¹

RESUMEN

En la presente investigación se evaluaron películas delgadas de ZnO dopadas con Mg a una concentración de 0.65 M, sintetizadas por el método sol-gel, y depositadas en sustratos de cuarzo por el método de spin-coating. Se determinó el efecto de la temperatura de recocido (400, 500 y 600°C) y del porcentaje molar del dopante (2, 4, 6 y 8%), sobre las propiedades eléctricas y morfológicas. Se encontró que las películas delgadas de ZnO muestran la mayor conductividad eléctrica y mayor tamaño de grano al dopaje de 2% de Mg con una temperatura de recocido de 600°C, siendo de $8.55 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ y de 38.56 nm respectivamente. Así también, la menor conductividad eléctrica y el menor tamaño de grano, se da a un dopaje del 8% de Mg con una temperatura de recocido de 400°C, siendo los valores de $1.48 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ y 14.13 nm; de modo que, el tamaño de grano crece con el incremento de la temperatura; pero disminuye a medida que aumenta la concentración molar de Mg. El tamaño de grano se determinó mediante la ecuación de Scherrer sobre los picos de difracción de rayos X (DRX). Los resultados mostraron que las películas delgadas de ZnO dopadas con Mg poseen una estructura hexagonal tipo wurtzita con una orientación preferencial al plano (002).

Palabras clave: *Método sol-gel, Portadores de carga, Movilidad, Nanoestructuras.*

ABSTRACT

In this research, thin films of ZnO doped Mg at 0.65 M, synthesized by the sol-gel method, and deposited on quartz substrates by the spin-coating method were evaluated. The effect of the annealing temperature (400, 500 and 600 °C) and the molar percentage of the dopant (2, 4, 6 and 8%) on the electrical and morphological properties were determined. It was found that, the thin films of ZnO show the highest electrical conductivity and large grain size at doping of 2% Mg with an annealing temperature of 600 °C, with values of $8.55 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ and 38.56 nm respectively. Also, the lowest electrical conductivity and the smallest grain size is given to a doping of 8% Mg with an annealing temperature of 400 °C, with values of $1.48 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ and 14.13 nm; so, the grain size grows with the increase of the temperature; but it decreases as the molar concentration of Mg increases. The grain size was determined by the Scherrer equation on the X-ray diffraction peaks (XRD). The results showed that the thin films of ZnO doped with Mg have a wurtzite hexagonal structure with a preferential orientation to the plane (002).

Keywords: *Sol-gel method, Charge carriers, Mobility, Nanostructures.*

¹ Universidad Nacional de Trujillo. Departamento de Ingeniería de Materiales
² Universidad Nacional de Trujillo. Escuela de Ingeniería de Materiales
E-mail: didialfanet@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control, los lectores ópticos, las pantallas con luces, la electrónica del sistema colectivo de transporte; utilizan semiconductores. Desde las computadoras hasta las calculadoras, además de la mayoría de los aparatos electrodomésticos, los equipos de medición de laboratorio, las celdas solares, las fotocopiadoras y una larga serie de otras aplicaciones, tienen que ver con la aplicación de semiconductores¹. Los materiales semiconductores y el desarrollo de dispositivos ha sido asombroso, y el impacto en la sociedad humana, monumental. Los semiconductores ocupan un lugar prominente en el conjunto de los materiales, esto se debe al alto grado de desarrollo que se ha alcanzado en el conocimiento de sus propiedades básicas, como también en el de sus aplicaciones. Podemos decir que hoy en día los semiconductores son piezas básicas en toda la tecnología electrónica, teniendo gran impacto también en la fotónica^{2,3}. La palabra fotónica ha sido acuñada en las últimas dos décadas con el objetivo de describir el campo de la óptica, los fenómenos optoelectrónicos y sus aplicaciones. Los electrones en aceleración generan ondas electromagnéticas, y en distancias cortas el aspecto de la onda puede ser variable, y se puede hablar sólo de electrónica. Hasta ahora, estamos acostumbrados a pensar en los electrones como partículas clásicas, pero la mecánica cuántica les asigna igualmente propiedades de ondas de materia, al igual que asigna a la partícula de las ondas electromagnéticas^{4,5}. De este modo se intensificó en la investigación de propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas de los semiconductores. Al mismo tiempo se aplica la mecánica cuántica a los sólidos y se logra describir, en gran detalle, la estructura electrónica de los semiconductores. Por el lado práctico, se establecen las bases para el desarrollo de nuevos dispositivos electrónicos tales como láseres, detectores de rayos, detectores de gases⁶. En las últimas tres décadas se ha dedicado mucho interés a los óxidos semiconductores debido a sus propiedades particulares y a sus diversas aplicaciones. Hasta ahora el óxido de indio dopado con estaño es el más común debido a su alta conductividad eléctrica y transmisión óptica. Sin embargo el éxito de este semiconductor está limitado por un alto costo, toxicidad y la escasez de indio. En busca de materiales alternativos, el ZnO

ha atraído atención debido a su relativamente bajo costo⁷. Por otra parte, tiene algunas características distintas como estructura de defectos no estequiométricos, anisotropía en su estructura cristalina, y una gran brecha de banda directa (3.37 eV), transparencia en la región visible, gran variación de conductividad, y es altamente sensible a longitudes de onda en diferentes ambientes⁸. Estas propiedades lo hacen útil para muchas aplicaciones como las celdas solares, los rayos ultravioleta, la fotocatalisis, los dispositivos de ondas acústicas de superficie, los sensores de gas, los transistores de efecto de campo, y los dispositivos optoelectrónicos⁹. Por otra parte, el radio del ion Mg^{2+} (0.57 Å) difiere de manera poco significativa con el radio del ion Zn^{2+} (0.60 Å), por lo que la incorporación del ion Mg^{2+} en el enrejado ZnO es bastante factible, formando así MZO, óxido de zinc y óxido de magnesio, que pueden ser fácilmente controlados en una amplia gama de temperaturas. Las películas delgadas de ZnO dopadas con Mg se han preparado usando diversos métodos, tales como pulverización por magnetrón de radiofrecuencia (rf), pirolisis por pulverización, deposición por láser pulsado, epitaxia de haz molecular, deposición química en fase vapor, y la técnica del método sol-gel. También se ha establecido experimentalmente que las propiedades estructurales y ópticas de estas películas delgadas son muy sensibles a las condiciones de deposición^{10,11,12}. Entre estos métodos, el método sol-gel es atractivo debido a que ofrece muchas ventajas como una preparación sencilla y económica; además ofrece la capacidad de optimizar la morfología de las películas, proporciona una película fina y homogénea de gran área junto con un excelente control de composición, una menor temperatura de cristalización y un espesor de película uniforme. Así, el estudio sobre las propiedades estructurales y ópticas de las películas MZO requiere una gran atención para las aplicaciones optoelectrónicas de estas películas¹³.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales:

Se utilizaron como materiales de partida, acetato de zinc dihidratado (ZnAc) $[Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O]$, $M = 219.5276$ gr/mol; cloruro de magnesio ($MgCl_2$), $M = 249.08236$ gr/mol; el solvente: etanol absoluto (EtOH) $[CH_3CH_2OH]$, $M = 46.0684$ gr/mol; agua

desionizada (AD) [H₂O], M = 18.01528 gr/mol; el agente gelante: dietanolamina (DEA) [HOCH₂CH₂NHCH₂CH₂OH], M = 105.14 gr/mol y los sustratos de borosilicato.

2.2 Síntesis:

La síntesis sol-gel de ZnO para solución patrón y dopadas fueron preparadas de la siguiente manera: el ZnAc fué disuelto en EtOH (0.3 M) y agitado a 60 °C por 10 minutos. Cuando la solución cambio a emulsión, se le agregó el DEA en AD, con una relación molar de MEA/ZnAc 1:1 y AD/ ZnAc de 2:1, respectivamente. Las probetas de óxido de zinc fueron dopadas al 2, 4, 6, y 8% de Mg, mediante el método sol-gel con una concentración 0.65 molar. Después de un periodo de agitación de 5 minutos la solución cambió a transparente. Se hizo la deposición de 5 capas en un spin coater de aproximadamente 2000 rpm, por un periodo de 40 segundos por capa, secando a 90 °C por 10 minutos cada capa depositada. El recocido se realizó a las temperaturas de 400°C, 500°C y 600°C durante 30 minutos.

2.3 Técnicas de caracterización:

Espectroscopia UV-Vis, permitió en primera instancia reconocer las bandas de absorción en el espectro visible atribuidas a la incorporación exitosa del magnesio a la red de ZnO y descartar la formación de fases secundarias que fueron contrastadas con los resultados de DRX.

Difracción de rayos X (DRX), este ensayo permitió observar el cambio en la estructura cristalina con la temperatura de recocido de las películas semiconductoras dopadas con Magnesio respecto de las películas patrón así como la orientación, parámetros de red y tamaño de los cristales de las películas y así determinar su influencia sobre el número de portadores y resistividad eléctrica y su relación con los resultados UV-Vis.

Funcionalidad por efecto Hall, el ensayo consistió en determinar en primera instancia el campo magnético neto producido utilizando la ley de Biot – Savart del electromagnetismo, anulando el componente del campo magnético terrestre, ubicando paralelamente al campo producido por los dos electroimanes. Luego haciendo uso de la técnica de Efecto Hall que usa este campo magnético para

desviar hacia uno de los extremos de la película delgada a los portadores de carga creándose el voltaje hall que se usó para determina el número y la movilidad de portadores de carga; con esos datos y la carga del electrón se puede aproximar la conductividad eléctrica del material.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Propiedades ópticas:

En la figura 1 se observa que las películas delgadas de ZnO dopadas a diferentes porcentajes molares de Mg recocidas a 400°C, tienen una transmitancia de 65 a 90% en el rango visible; también se muestra una fuerte absorbanza para todas las películas delgadas en el intervalo de 300 a 400 nm de longitud de onda debido a la excitación y la migración de los electrones de la banda de valencia a la banda de conducción. La caída abrupta del borde de absorción en los espectros de transmisión, es característica de un semiconductor con una amplia banda prohibida (band gap) lo que hace de las películas delgadas de ZnO dopadas con Mg un material adecuado para los potenciales dispositivos optoelectrónicos, coincidiendo con Fernandez¹⁴.

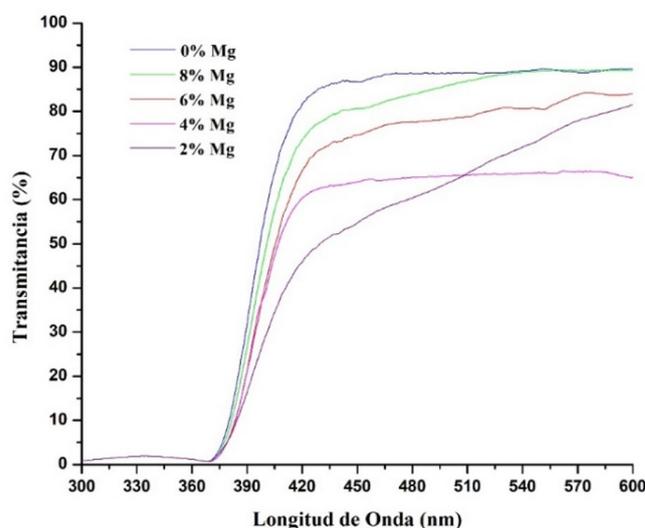


Figura 1: Transmitancia de películas delgadas de ZnO a diferentes porcentajes molares de Mg recocidas a 400°C.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte el aumento de la temperatura de recocido tiene el efecto contrario al dopaje de las películas delgadas, ya que disminuye la transmitancia.

Esto puede estar relacionado con la rugosidad superficial de las películas delgadas al ser recocidas, una mayor rugosidad dispersa la luz incidente. La brecha energética de las películas delgadas de ZnO disminuye con el aumento de la temperatura; pero aumenta con el incremento del porcentaje molar de Mg. En la tabla 1 se puede observar los valores de brecha energética para todas las películas delgadas, observándose un valor de 3.45 eV con el 8% de dopaje y temperatura de recocido a 400°C. Este aumento de la brecha energética se asigna al efecto Moss-Burstein, que es un fenómeno en el cual la banda prohibida de un semiconductor aumenta a medida que el borde de absorción se acerca a energías más altas, como resultado de que algunos estados cercanos a la banda de conducción se llenan, coincidiendo con Kartikey y col¹⁵.

Tabla 1. Brecha energética de las películas delgadas de ZnO dopadas a 2, 4, 6 y 8% de Mg recocidas a 400, 500 y 600°C.

% molar Mg	Temperatura de recocido (°C)	Eg (eV)
2%	400	3.37
	500	3.27
	600	3.24
4%	400	3.39
	500	3.30
	600	3.25
6%	400	3.42
	500	3.31
	600	3.26
8%	400	3.45
	500	3.33
	600	3.28

3.2 Estructura cristalina (DRX):

En la figura 2 se observan los resultados obtenidos de la difracción de rayos X que se realizó a las películas delgadas de ZnO recocidas a diferentes temperaturas, los picos que se muestran coinciden con el manual de difracción JCPDS 36 – 1451. Es-

tos picos aumentan su intensidad a medida que aumenta la temperatura de recocido coincidiendo con Niranján y Gruner^{16,17}. De los resultados del DRX para las muestras de ZnO dopadas al 8% molar de magnesio a diferentes temperaturas de recocido, se observa que a medida que incrementa la temperatura de recocido de 400 a 600°C, la intensidad de difracción es alta en el plano (002) que indica una orientación al eje c de las películas semiconductoras. Todas las películas son policristalinas con una estructura wurtzita hexagonal ya que presentan orientación preferencial al plano (002), además no existe presencia de fases de Mg o MgO en los patrones de DRX un resultado similar al obtenido por Akhtar y col¹⁸. Los picos relacionados con el plano (002), se desplazaron sistemáticamente hacia un mayor ángulo de 34.58° a 34.60°. Esto se debe al incremento de la temperatura de recocido y a los diferentes porcentajes molares de Mg.

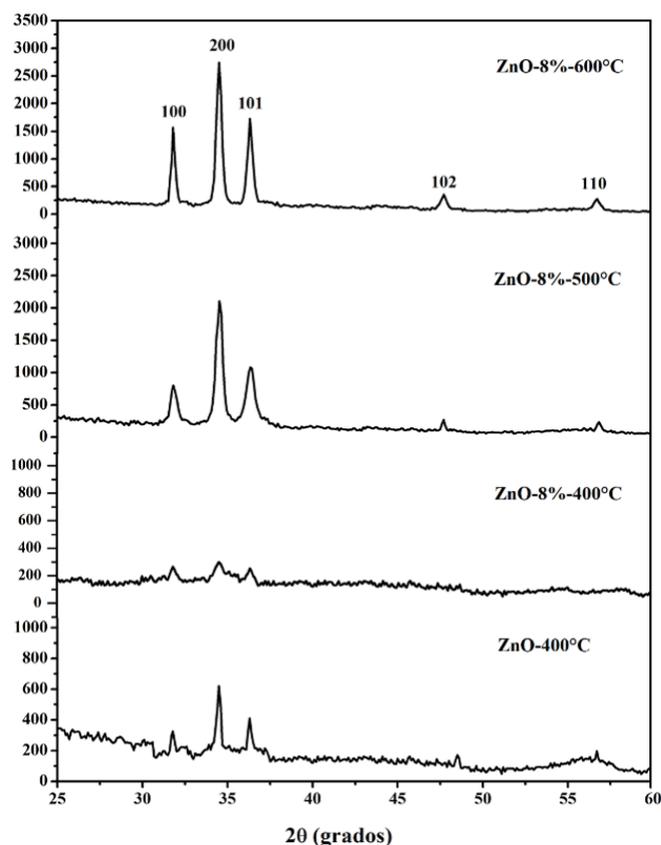


Figura 2. Patrón de difracción a diferentes temperaturas de recocido para muestras de 8% Mg. Fuente: Elaboración propia.

El tamaño de grano (τ) de las películas delgadas fue calculado usando el FWHM (Full Width at Half

Maximum) del pico relacionado al plano (002) mediante la ecuación de Scherrer:

$$\tau = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

Dónde: $k = 0.9$ factor de forma, $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$, longitud de onda del rayo X incidente, β = la medida de FWHM en radianes y θ = ángulo de difracción del pico de difracción.

La figura 3 muestra el tamaño de grano de las películas delgadas de ZnO dopadas a diferente porcentaje molar de Mg y recocidas a distintas temperaturas. Donde el tamaño de grano va aumentando de 15 nm (400°C) a 38.57 nm (600°C) para un dopaje de 2% Mg y de 14.13 nm (400°C) a 33.07 nm (600°C) para un dopaje de 8% Mg con el incremento de la temperatura, esto podría ser atribuido a la coalescencia de granos que se genera a mayores temperaturas de recocido. Sin embargo el tamaño de grano disminuye para una temperatura de recocido de 600°C desde 38.57 nm con un dopaje de 2% Mg a 33.07 nm con un dopaje de 8% Mg, por lo tanto se puede decir que la incorporación del Mg en la red del ZnO deteriora ligeramente la cristalinidad y la coalescencia de granos es menor con altos porcentajes de dopaje. El tamaño de grano fue calculado por la fórmula de Scherrer en el pico (002) implicando que el resultado también fue afectado por el movimiento de la posición del pico debido a tensiones residuales en las películas delgadas, resultados similares fueron presentados por Dahnoun y col¹⁹.

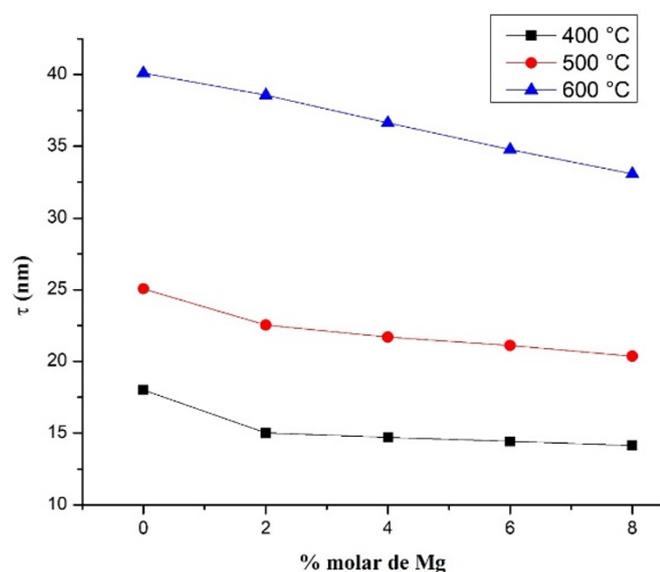


Figura 3. Tamaño de grano de las películas de ZnO dopadas con diferente porcentaje molar de Mg a diferentes temperaturas de recocido.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Propiedades Eléctricas:

En las figuras 4 y 5 se muestran claramente que la conductividad eléctrica disminuye con el aumento del porcentaje molar de Mg²⁺, donde se da la sustitución del ion Mg²⁺ por el catión Zn²⁺ perteneciente al grupo II, el cual no debe generar ni consumir portadores de carga del ZnO. Sin embargo, después del dopaje con diferentes porcentajes molares de Mg las propiedades eléctricas de las películas delgadas de ZnO cambian, esto presumiblemente resulta de la sustitución de iones de Mg por iones de Zn en la red de ZnO ya que el radio iónico del Mg es más pequeño (72 pm) que el radio iónico del Zn (83 pm), creando alteraciones en la red cristalina como defectos reticulares (vacantes, dislocaciones, límites de grano, etc.). Son irregularidades de la red cristalina y, por lo tanto, dispersan las ondas electrónicas favoreciendo el incremento de la resistividad eléctrica. El cambio de posición de los picos de difracción (002) que muestra el DRX da como resultado una distorsión en la red cristalina, lo que aumentaría la resistividad de las películas delgadas de ZnO. También está la posibilidad de que el ion Mg²⁺ se haya situado en los límites de grano, acumulándose y produciendo barreras eléctricas, lo que aumenta la dispersión de portadores y por lo tanto incrementa la resistividad eléctrica; resultados similares obtuvo Zhao²⁰.

Por otro lado la temperatura de recocido tiene un efecto contrario ya que incrementa la conductividad eléctrica de las películas delgadas de ZnO dopadas con diferentes porcentajes molares de Mg²⁺, esto se explica por fenómenos de difusión reflejados en la ecuación de Arrhenius, que es una expresión matemática que relaciona la dependencia la cinética de una reacción química con respecto a la temperatura a la que se lleva a cabo esa reacción. En el ZnO la corriente es transmitida por exceso de electrones para compensar los iones intersticiales Zn²⁺ y el transporte iónico es transmitido por los iones intersticiales (movimiento hacia intersticios tetraedricos vacíos)²¹.

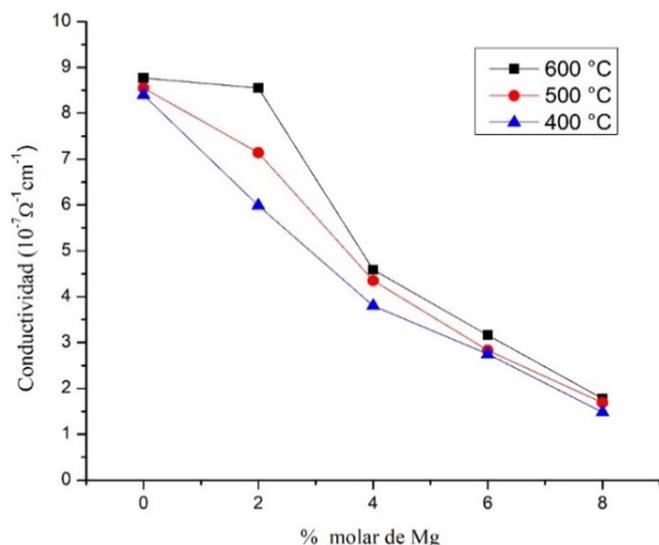


Figura 4. Conductividad eléctrica de las películas delgadas de ZnO dopadas con diferente porcentaje molar de Mg a diferentes temperatura de recocido. Fuente: Elaboración propia.

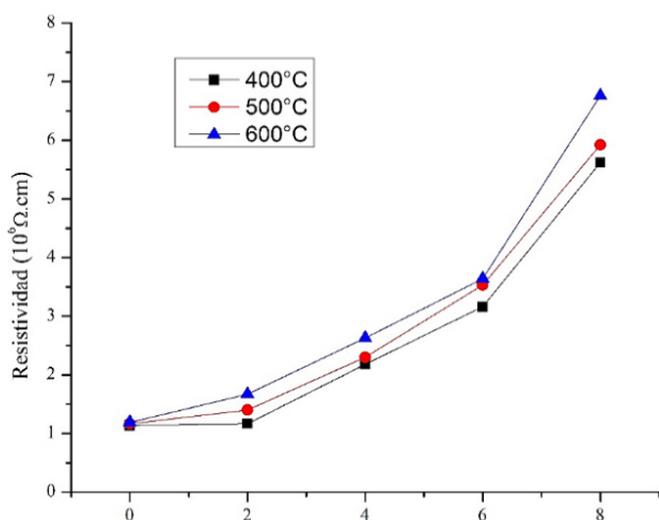


Figura 5. Resistividad eléctrica de las películas delgadas de ZnO dopadas con diferente porcentaje molar de Mg a diferentes temperatura de recocido. Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Mediante el método de las cuatro puntas de Lord Kelvin se determinó que la conductividad eléctrica disminuye con el aumento del porcentaje molar de Mg, esto resulta de la sustitución de iones de Mg^{2+} por iones de Zn^{2+} dentro de la red cristalina del ZnO; ya que el radio iónico del Mg^{2+} es más pequeño (0.57Å) que el radio iónico del Zn^{2+} (0.60Å), creando alteraciones en la red cristalina como

defectos reticulares. Por otro lado la temperatura de recocido tiene un efecto contrario, debido a que aumenta la conductividad eléctrica de las películas delgadas de ZnO dopadas con diferentes porcentajes molares de Mg^{2+} .

La mejor conductividad eléctrica para las películas delgadas de ZnO se dio a un dopaje de 2% de Mg, siendo de $8.55 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ a una temperatura de recocido de 600°C . Mediante la técnica de XRD se determinó que las películas son policristalinas con una estructura wurtzita hexagonal, y que presentan una orientación preferencial al plano (002); además no se observa la presencia de fases de Mg o MgO en los patrones de DRX. Se determinó también que el tamaño de grano aumenta de 15 nm (400°C) a 38.57 nm (600°C) para un dopaje de 2% Mg, y de 14.13 nm (400°C) a 33.07 nm (600°C) para un dopaje de 8% Mg; sin embargo el tamaño de grano disminuye para una temperatura de recocido de 600°C desde 38.57 nm con un dopaje de 2% Mg a 33.07 nm con un dopaje de 8% Mg, por lo tanto se puede decir que la incorporación del Mg^{2+} en la red del ZnO deteriora ligeramente la cristalinidad.

Las películas delgadas de ZnO dopadas a diferentes porcentajes molares de Mg recocidas a 600°C , tienen una transmitancia de 65 a 90% en el rango visible; siendo las muestras que contienen 8% de Mg las que tienen mayor transmitancia. También se observa una fuerte absorbancia para todas las películas delgadas en el intervalo de 300 a 400 nm de longitud de onda. La brecha energética de las películas delgadas de ZnO disminuye con el incremento de la temperatura; pero aumenta con el incremento del porcentaje molar de Mg, teniendo un mayor de brecha energética con 8% de dopaje de Mg y una temperatura de recocido de 400°C , obteniéndose un valor de 3.45 eV, lo cual es explicado por el efecto Moss-Burstein.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bhaumik, G.; Nath, A. and Basu, S. Laser annealing of oxide thin film deposited by spray-CVD. *Materials Science and Engineering B* 52, 25-31; 1998.
- [2] Zayani, J., and Matoussi, A. Morphological and

- Optical studies of zinc oxide doped MgO. Tunisia, Laboratory of Composite Ceramic and Polymer Materials, Scientific Faculty of Sfax; 2016.
- [3] Yang, Y.; Huallacard, S.; Nagaraj, B.; Takeuchi, I.; Sharma, R.; and Venkatesan, T. Compositionally-tuned epitaxial cubic $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ on Si (100) for deep ultraviolet photodetectors. *Applied Physics*, 1-3; 2003.
- [4] Qiang, S.; Zhang, J.; Zhang, D; et al. Red luminescent and structural properties of Mg-doped ZnO phosphors prepared by sol-gel method. *Science and Information Engineering*, Liaocheng University, Shandong, Department of Physics ,beihang university, Beijing. *ScienceDirect*; 2012.
- [5] Kai, H.; Zhen, T.; Li, Z.; et al. Preparation and characterization of Mg-doped ZnO thin Films by sol-gel method. China. Department of Physics and Electronic Engineering, Hefei Normal University. *ScienceDirect*; 2012.
- [6] Zayani, J.; and Matoussi, A. Morphological and Optical studies of zinc doped MgO. Tunisia. Laboratory of Composite Ceramic and Polymer Material, Scientific faculty of Sfax. *ScienceDirect*; 2016.
- [7] Xianyong, L.; Zhaoyue, L.; Ying, Z.; and Lei, J. Sonochemical synthesis and photocatalytic property of zinc oxide nanoparticles doped with magnesium (II). School of Chemistry and Environment, Beihang University, Beijing. *ScienceDirect*; 2011.
- [8] Kaushal, A.; and Davinder, K. Effect of Mg content on structural, electrical and optical properties of $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ nanocomposite thin films. Department of Physics and Center of Nanotechnology, Indian Institute of Technology. *ScienceDirect*; 2008.
- [9] Nickel, N.; and Terukov, E. Zinc Oxide - A Material for Micro and Optoelectronic. Applications. Netherlands: Springer; 2005.
- [10] Florescu, D.; Mourokh, L.; LOOK, D.; and Li, C. High spatial resolution thermal conductivity of bulk ZnO (0001). *Appl. Phys*; 2002.
- [11] FERRO FERNÁNDEZ, R. Contribución al desarrollo de óxidos semiconductores depositados por rocío químico pirolítico para uso en celdas solares y sensores de gases. Tesis doctoral. Págs. 10-18, La Habana: Universidad de Habana; 2005.
- [12] Jentoft, F. Diffuse Reflectance IR and UV-Vis Spectroscopy. Fritz Haber Institut der Max Planck Gesellschaft. Alemania. Berlín; 2004.
- [13] Chávez, B. Efecto de la temperatura de recocido sobre la densidad y movilidad de portadores de carga de películas semiconductoras de NiO dopadas a una concentración 3 molar con nanopartículas de oro. Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Pag. 44, 52; 2017.
- [14] Fernández, A. Efecto del porcentaje molar de Co y temperatura de recocido en el dopaje de películas semiconductoras de ZnO sobre el número y movilidad de portadores de carga utilizando el método de efecto hall. Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Pag.67; 2015.
- [15] Kartikey, V.; Babulal, C.; Vijay, K., and et al. Investigation of structural, morphological and optical properties of Mg: ZnO thin films prepared by sol-gel spin coating method. India: Department of Applied Physics, Chandigarh University, Gharuan, Mohali; 2017.
- [16] Niranjana, S.; Parija, B.; and Panigrahi, G. Fundamental understanding and modeling of spin coating. India: Departamente de Physics, National Institute of Technology; 2009.
- [17] Gruner, E.; Tate, M.; Rossi, W; Wixted, P.; and Sellin, R. A Pixel-Array Detector for Time-Resolved X-ray Diffraction. *Journal of Synchrotron Radiation*: pp 252-255; 1998.
- [18] Akhtar, A.; Pilevarshahri, R.; and Mohammad, R. Investigating and comparison of electronic and optical properties of MgO nanosheet in

(100) and (111) structural directions base don the density functional theory. Iran. Department of Physics, Payame Noor University (PNU). ScienceDirect.2016

- [19] Dahnoun, M.; Attaf, A.; Saidi, H.; and Khelifi, C. Structural, optical and electrical properties of zinc oxide thin films deposited by sol-gel spin coating technique. University of Biskra. Laboratoire de Physique des Minces et Applications. ScienceDirect; 2016.
- [20] Zhao, Y.; Ashok, K.; Giti, A.; Khodaparast, A.; and Shashank P. Sintering Temperature – Dependent Chemical Defects and the Effect on the Electrical Resistivity of Thermoelectric ZnO; 2014.
- [21] Luis, M.; Carballos, S.; y Galindo, H. Estudio de los Procesos Sol-Gel para la obtención de aglutinante apropiado para el paletizado de alúmina, 2011.