

# Desarrollo de la metodología de Depósito Atómico en Capas en México

José Luis Cervantes<sup>1</sup>, Ricardo Rangel<sup>2</sup>, Juan José Alvarado<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Estudiante del programa de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Química, División de estudios de posgrado, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de S.N.H., Morelia, Michoacán, México.

<sup>2</sup> División de estudios de posgrado, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de S.N.H., Morelia, Michoacán, México.

<sup>3</sup> Departamento de Física Aplicada, CINVESTAV-Unidad Mérida, Mérida Yucatán, México.

Existe una demanda creciente por el empleo de energías renovables las cuales incluyen el desarrollo en áreas como la energía eólica, termoeléctrica, hidráulica, geotérmica, fotovoltaica, entre otras. La energía



solar es una fuente de energía que tiene ventajas sobre otras, pero para su aprovechamiento presenta varias dificultades. Entre sus ventajas se destacan principalmente su naturaleza inagotable, renovable y su utilización libre de afectación al medio ambiente. Sin embargo, los obstáculos que se presentan para su empleo encontramos su naturaleza intermitente, su variabilidad fuera de control y su baja densidad de potencia. Estas dificultades nos orillan a la transformación de la energía para su almacenamiento y posterior uso.

Para contrarrestar estas desventajas, se han encaminado esfuerzos para incrementar el empleo

Figura 1. Ejemplo de celda solar

de metodologías basadas en estructuras diseñadas a escala nanométrica que involucran a la nanotecnología. Una de estas tecnologías son las celdas solares, los cuales son sistemas fotovoltaicos que convierten directamente parte de la luz solar en electricidad. Estas están compuestas de la misma clase de materiales semiconductores que se usan en la industria microelectrónica [1]. Dentro de la construcción de las celdas solares existen diferentes estructuras de materiales para su síntesis, en las que podemos encontrar: a) óxido de silicio, b) sulfuro de cadmio, c) telurio de cadmio, d) híbridos que incluyan materiales amorfos y cristalinos, e) películas delgadas.

Considerando el desarrollo en la fabricación de películas delgadas, existe un auge en la técnica denominada depósito atómico en capas (ALD, por sus siglas en inglés) debido al potencial de sus posibles aplicaciones. Ésta es una técnica de crecimiento, que de forma secuencial permite obtener materiales con un

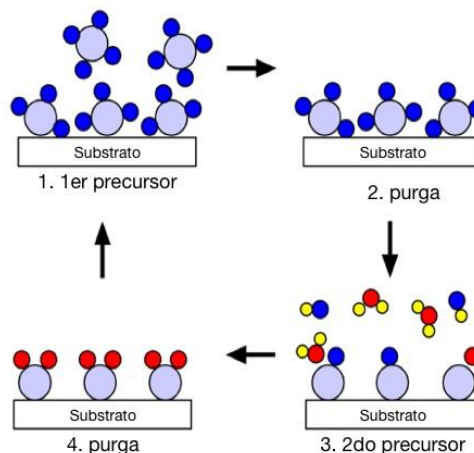


Figura 2. Etapas principales de ALD

control preciso en cuanto a su espesor y composición química, además de garantizar la homogeneidad de la superficie. Es una técnica de autolimitación que permite el ensamble de multicapas in situ, logrando acoplar capas individuales de diferentes materiales, pudiendo alternarlos entre sí, conservando espesores requeridos. La técnica consiste en una secuencia de ciclos que constan de cuatro pasos, en cada paso se expone el precursor hasta saturar la superficie con una capa mono-molecular del mismo. Los vapores de origen son pulsados en el reactor alternadamente, uno por uno, separados por periodos de purga y evacuación; lo cual da como resultado un sistema de auto-limitación para el crecimiento de cada película (ver figura 2). De esta forma se obtienen materiales con características ventajosas tales como uniformidad, crecimiento a bajas temperaturas, con un espesor pequeño y preciso.

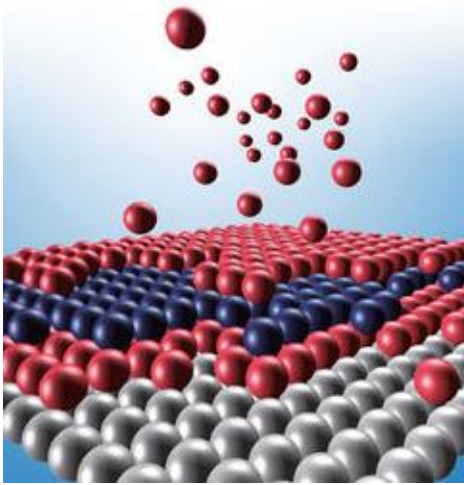


Figura 3. Capas individuales a través de ALD  
Figura tomada del libro: Atomic Layer Deposition of Nanostructured Materials

En México el desarrollo y aplicación de esta técnica es relativamente reciente. Sin embargo, existen varios grupos de trabajo que incluyen el Centro de Investigación en Materiales Avanzados unidad Monterrey (CIMAV-Monterrey), la

Universidad Autónoma de Nuevo León, el Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN-UNAM), la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, el Centro de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional en sus unidades de Querétaro, Querétaro y en Mérida, Yucatán. Así mismo, la Universidad de Sonora y la Universidad Michoacana. Consideramos que esta técnica se encuentra en etapas iniciales de su desarrollo en México; sin embargo, el ritmo de publicaciones a nivel internacional de los grupos mencionados, es un buen augurio de que esta técnica habrá de proveer un desarrollo científico maduro, pasando a las aplicaciones tecnológicas en un corto tiempo.

En el caso particular de la Universidad Michoacana, se han realizado ahí estudios que incluyen el crecimiento de estructuras de ZnO y de fases impurificadas del mismo, ZnInO, ZnCeO con el propósito de desarrollar películas delgadas con espesores y composición específica con propiedades fotoluminiscentes o sensoras de gases.

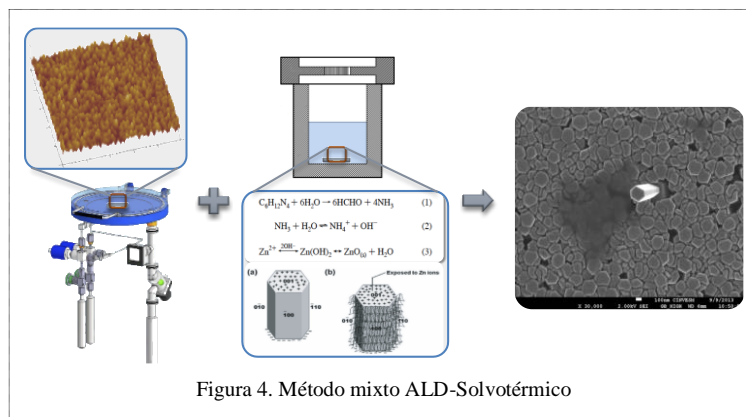


Figura 4. Método mixto ALD-Solvotérmico

En la figura 4 se muestran las imágenes de las nanoestructuras en forma de barras, con una forma superior hemisférica; las cuales se prepararon empleando un método mixto de depósito atómico en capas y un posterior tratamiento solvotérmico que promueve un crecimiento epitaxial. En este caso, se ha producido una semilla inicial compuesta por ZnO y posteriormente se ha llevado a cabo una impurificación con el elemento cerio, con la finalidad de lograr modificar sus propiedades fisicoquímicas y electrónicas. De manera

paralela se logra modular, a su vez con la incorporación del cerio el valor energético de la banda prohibida (gap) del ZnO al preparar el compuesto  $Zn_{0.98}Ce_{0.02}O$ .

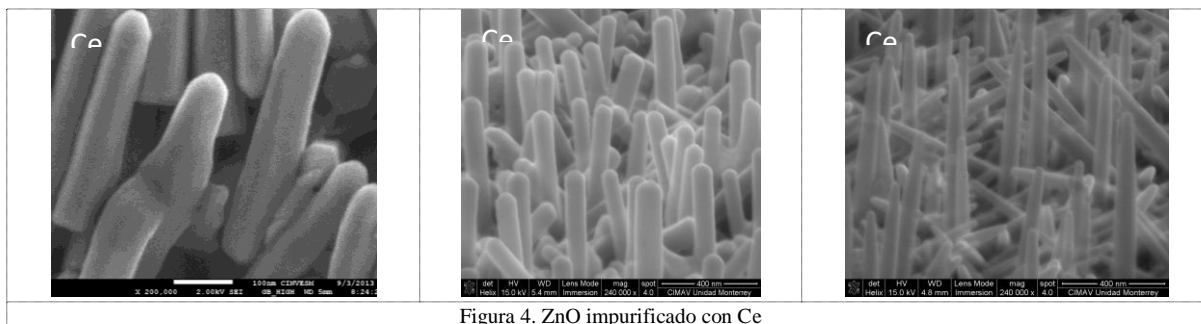


Figura 4. ZnO impurificado con Ce

Las estructuras resultantes en este caso son barras con diámetro y tamaño controlado de acuerdo a las condiciones del proceso particular las cuales involucran variables tales como temperatura, presión del sistema y concentraciones de los reactivos involucrados.

## Conclusiones

El procedimiento de crecimiento de estructuras mediante la técnica ALD es un procedimiento mediante el cual es posible obtener inicialmente estructuras con composiciones y espesores adecuados que poseen un espectro de aplicación amplio. También es posible lograr la síntesis de películas delgadas de gran calidad y con características adecuadas para aplicación en el campo de las celdas solares, sensores de gases. Así mismo, películas con propiedades ópticas específicas, buscando reducir los costos, fácilmente reproducibles; así como mejorar el rendimiento de las mismas. En México, esta técnica y sus posibles aplicaciones tecnológicas, se encuentran en una etapa de crecimiento sostenido, de lo cual se espera que en años próximos den lugar a la generación de patentes y procedimientos novedosos.

## Agradecimientos.

Los autores agradecen el apoyo de la Red de Energía Solar. Por su apoyo y colaboración a los técnicos académicos Wilian Cahuich, Dora Huerta, Daniel Macías y Beatriz Heredia, adscritos al CINVESTAV- Unidad Mérida.

## Referencias

- [1] Guozhong Cao, Ying Wang. Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications. World Scientific Publishing Co Pte Ltd. 04 Jun 2011. Singapore, Singapore. 2nd Revised Edition.
- [2] Paul T. Craddock. Zinc in classical antiquity, 2000 years of zinc and brass. London British Museum. 1990. ISBN 0861591240
- [3] J. S. Kharakwal and L. K. Gurjar. Zinc and Brass in Archeological Perspective. Ancient Asia. Vol 1, 2006. 139-159.
- [4] S. K. Patra and P. Roy Chaudhuri. Pijus Kanti Samanta, "Green Photoluminescence from Chemically Synthesized Zinc Oxide Nanostructures.," *International Journal Of Materials Sciences.*, pp. 239-242, noviembre 2009.
- [5] Rodolfo Zanela, "Metodologías para la síntesis de nanopelícula controlando forma y tamaño," *Mundo Nano*, vol. 5 no.1, Ene-Jun 2012.
- [6] Sang Eun Park, Jung Chul Lee and Pung Keun Song. Se Hun Park, "Photoluminescence Characterization of Al-doped ZnO films Deposited by Using DC Sputtering.," *Journal Of The Korean Physical Society*, pp. 1344-1347, marzo 2009.

[7] R.Rangel, L.Chávez Chávez, E.Martinez, P. Bartolo-Pérez, Structural and transport properties study of nanostructured  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Ce}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_2$  and  $\text{Ce}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_2$  thin films, Phys. Status Solidi B, Vol. 249, No. 6,1199–1205, 2012.

