

18

**¿EN QUÉ CONSISTE LA
TÉCNICA DE DEPÓSITO
ATÓMICO EN CAPAS?**

¿En qué consiste la técnica de depósito atómico en capas?

José Luis Cervantes¹, Ricardo Rangel², Juan José Alvarado³

¹ 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.

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

³ Departamento de Física Aplicada, CINVESTAV-Unidad Mérida, Mérida Yucatán, México.

En nuestra vida cotidiana, nos encontramos en contacto con materiales y tecnología de las cuales, desconocemos su procedencia. Algunos de estos materiales son producidos en forma de películas delgadas y que están ligadas a un sin fin de aplicaciones, las cuales incluyen a las películas anti-reflejantes, en lentes y parabrisas de autos, paneles fotovoltaicos; también formando parte de microcircuitos, ya sea en computadoras, pantallas de teléfonos celulares, relojes digitales, pantallas de televisores, monitores. Estas películas delgadas están constituidas con materiales con espesores muy pe-

queños, cuyas dimensiones son incluso inferiores a los micrómetros y que han sido depositadas mediante diversas técnicas. Comprender a profundidad el comportamiento, bajo ciertas condiciones, y características que presenta una película delgada es de vital importancia debido a las diferentes aplicaciones que podrían tener. La tendencia actual en la industria electrónica y de materiales, es buscar miniaturizar los dispositivos, lo cual ha llevado al extremo la precisión en las técnicas de depósito empleadas y, con el propósito de lograr un control estricto, inclusive a nivel atómico al momento de depositar las películas delgadas.



Figura 1. Aplicaciones de películas delgadas.

Existe una gran cantidad de técnicas disponibles para obtener películas delgadas; dependiendo de la aplicación deseada así como del tipo de sustrato empleado para lograr el depósito. Estos métodos se pueden dividir en tres grupos: métodos físicos, métodos químicos y métodos fisicoquímicos [1]. Dentro de estos, la síntesis de películas delgadas mediante el depósito atómico en capas, se puede clasificar como un método químico en fase gas. El depósito atómico en capas (ALD, por sus siglas en inglés), permite tener un control muy exacto, a nivel atómico de una película, debido a las características secuenciales de su proceso. Esta técnica fue

inventada por Suntola y colaboradores en Finlandia en 1970 [2]. La motivación detrás del desarrollo de ALD fue el deseo de hacer películas delgadas electroluminiscentes. Este método que en un principio se le llamó crecimiento epitaxial de capas atómicas (ALE), permite que las películas delgadas se depositen teniendo un control atómico en el crecimiento y composición química.

El depósito de capa atómica, es un método alternativo al de películas en fase gaseosa, basado en la reacción sobre una superficie hasta lograr saturarla. A diferencia de las técnicas de depósito de vapor químico, en la técnica de ALD, los vapores de origen son pulsados en el reactor de forma alternada, uno por uno, separados por periodos de purga y evacuación (ver **Figura 2**.) Esto da como resultado características ventajosas como uniformidad en la película, crecimiento a bajas temperaturas, y producir un espesor pequeño y preciso [3]. En el método de ALD, el crecimiento de la película se lleva a cabo de una manera cíclica. En el caso más simple, un ciclo consta de cuatro pasos:

1. La exposición del primer precursor
2. Purga de la cámara de reacción
3. La exposición del segundo precursor
4. Purga o evacuación.

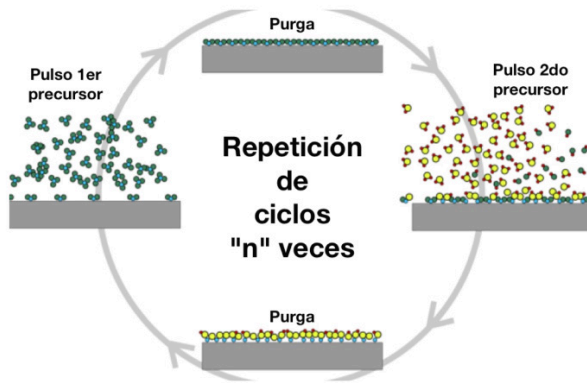


Figura 2. Etapas principales de ALD.

A medida que el crecimiento de la película procede de una manera espontánea, cada ciclo deposita la misma cantidad de material, y por lo tanto el espesor de la película puede ser controlado con precisión, simplemente por el número de ciclos de depósito. En régimen de ALD, las películas adoptan la forma de la superficie del sólido con el que reaccionan (conformalidad), esto se logra a través de la técnica de ALD con la cual es posible recubrir sustratos con características topográficas en su superficie, tales como relieves y vados que son propios de la naturaleza del material recubierto.

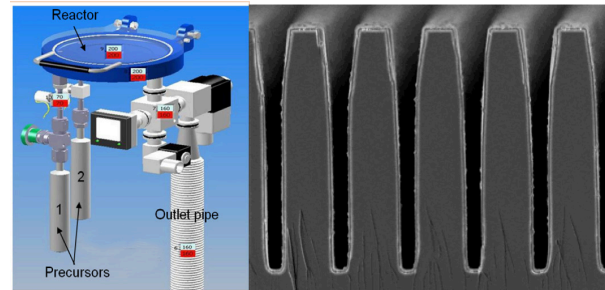


Figura 3. Reactor ALD y ejemplo de superficie recubierta.

La química de los precursores utilizados en las reacciones de ALD juega un papel clave en la generación de la película. Los precursores deben de presentar las siguientes características: ser volátiles, reactivos y térmicamente estables; estos pueden ser gases, líquidos o sólidos. Éstos deben reaccionar rápidamente y agresivamente entre sí con los grupos superficiales. De esta manera, es posible alcanzar la etapa de saturación en un tiempo corto (menos de 1 s), asegurando una velocidad de depósito razonable [4]. Además de las tres características esenciales de un precursor de ALD, se debe considerar una serie de factores, tales como la disponibilidad, costo, facilidad de manejo, la presencia

de elementos no deseados y su impacto en la tasa de crecimiento de la película. Junto a lo anterior, es deseable que los reactivos utilizados no generen problemas de seguridad ambiental y de salud. El interés por ALD ha aumentado constantemente en las últimas dos décadas, tanto desde el punto de vista tecnológico como desde el punto de vista de las aplicaciones. La investigación activa que se está llevando a cabo actualmente es hacia el desarrollo de nuevos materiales que puedan ser aplicados en actividades relacionadas con la energía y el medio ambiente. El

control del crecimiento de una capa de un material dado, a escala atómica es el desafío del futuro inmediato. El número creciente de estudios reportados en la fabricación de nanoestructuras con una forma definida controlando perfectamente sus dimensiones abre una puerta significativa para esta técnica [5]. La fabricación a escala industrial es un reto crucial que se plantea a la técnica ALD, y que podría ser superada mediante ampliación o aceleración de los procesos de síntesis; lo que puede dar lugar a nuevas áreas de investigación que podrían beneficiar a la humanidad.



Figura 3. Aplicaciones de la técnica ALD.

Otra vertiente de las aplicaciones de ALD es la utilización como platilla para sobre esta crecer estructuras con características específicas. Un ejemplo de ello, son los estudios realizados por Shin et al. [6] donde sintetizaron plantillas a través del método ALD para la síntesis de nanotubos de óxido de titanio (TiO_2), donde las dimensiones correspondientes a longitud y diámetro se encuentran controladas durante el proceso de fabricación. Otro ejemplo del empleo de ALD

como una semilla promotora, se encuentra reportado en el trabajo realizado por nuestro grupo de trabajo (J. L. Cervantes et al.) [7] en el cual se reporta el crecimiento de estructuras uni-dimensionales empleando como semilla la síntesis por medio de ALD, la cual sirve como base para crecer nanobarras hexagonales de óxido de zinc (ZnO), impurificadas con diversos elementos incluyendo al cerio, indio con lo que se mejora su intensidad fotoluminiscente (ver **Figura 4.**)

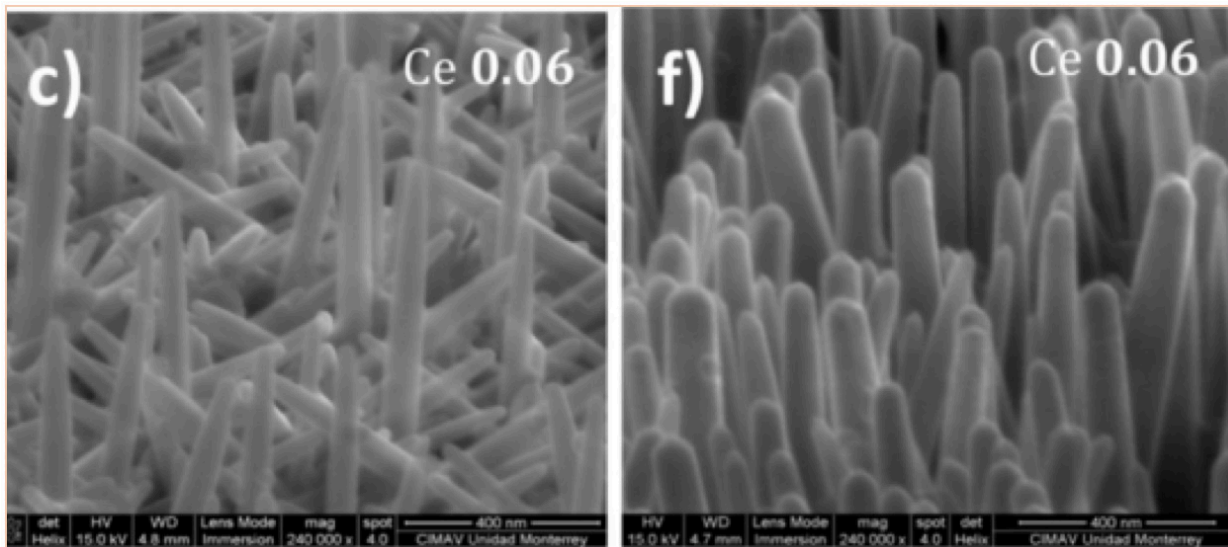


Figura 5. Nanobarras de ZnO crecidas por medio de ALD e hidrotérmico.

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, José Bante, Daniel Macías y Beatriz Heredia, adscritos al CINVESTAV-Unidad Mérida.

REFERENCIAS

- [1] E. Nieto, F. Fernandez, and P. D. C. Moure, "Cerámica y Vidrio Películas delgadas : fabricación y aplicaciones," vol. 258, pp. 245–258, 1994.
- [2] M. Ritala and M. Leskeld, *ATOMIC LAYER DEPOSITION*. 2002.
- [3] N. R. Yogamalar and A. C. Bose, "Synthesis , Dopant Study and Device Fabrication of Zinc Oxide Nanostructures : Mini Review," *Progresses Nanotechnol. Nanomater.*, vol. 2, pp. 25–44, 2013.
- [4] M. Ritala, "Atomic layer deposition (ALD) : from precursors to thin film structures," vol. 409, pp. 138–146, 2002.
- [5] J. S. Ponraj, G. Attolini, and M. Bosi, "Review on Atomic Layer Deposition and Applications of Oxide Thin Films," *Taylor Fr.*, vol. 32, no. 9, pp. 37–41, 2013.
- [6] B. H. Shin, D. K. Jeong, J. Lee, M. M. Sung, and J. Kim, "Formation of TiO₂ and ZrO₂ Nanotubes Using Atomic Layer Deposition with Ultraprecise Control of the Wall Thickness **," vol. 3, no. 14, pp. 1197–1200, 2004.
- [7] J. L. Cervantes-López et al., "Photoluminescence on cerium-doped ZnO nanorods produced under sequential atomic layer deposition?hydrothermal processes," *Appl. Phys. A*, vol. 123, no. 1, p. 86, 2017.

