



# Desarrollo y repercusión de las películas delgadas en la actualidad

María Rocío Alfaro-Cruz\*, Edith Luévano-Hipólito\*, Leticia Myriam Torres-Martínez\*\*

Orcid:0000-0002-7306-2240

Orcid:0000-0003-2988-405X

Orcid:0000-0003-3328-0240

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl26.121-6>

\* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.

\*\*Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., Chihuahua, México.

Contacto: MALFAROC@uanl.edu.mx



## ¿QUÉ SON LAS PELÍCULAS DELGADAS?

Diariamente, la mayoría de nuestras actividades laborales y sociales dependen del uso de diferentes dispositivos electrónicos, los cuales han llegado a ser parte fundamental de nuestro entorno, y nosotros, como sociedad, hemos tenido que adecuarnos a ellos. Los dispositivos electrónicos, como computadoras, celulares, televisiones inteligentes, baterías, celdas solares, etcétera, han permitido que la comunicación, el entretenimiento y el almacenamiento de energía se realicen de una manera más eficiente y su uso se ha vuelto tan común que más de 50% de la población mundial tiene acceso a ellos. Pero, ¿de qué depende su eficiencia?, ¿qué es lo que permite que tengamos mecanismos electrónicos de alta tecnología?

La eficiencia de todos éstos depende principalmente de la tecnología utilizada dentro de sus componentes electrónicos, los cuales están formados por un conjunto de películas delgadas de materiales semiconductores. ¿Películas delgadas, qué son y por qué nadie nos habla de ellas? Pues bien, son capas (nanométricas) de un material (generalmente semiconductor) depositadas sobre un sustrato que puede ser un metal, cerámico, semiconductor o un plástico (figura 1a).

Las películas delgadas son la base de la eficiencia tecnológica de gran parte de los dispositivos electrónicos que, como se pueden depositar en diversas superficies, pueden ser utilizadas no sólo en el área de electrónica, sino también en la fabricación de luces LED (figura 1b), celdas solares (figura 1c), televisiones de película delgada (figura 1d) y en superficies antibacteriales, recubrimientos autolimpiantes, o en herramientas

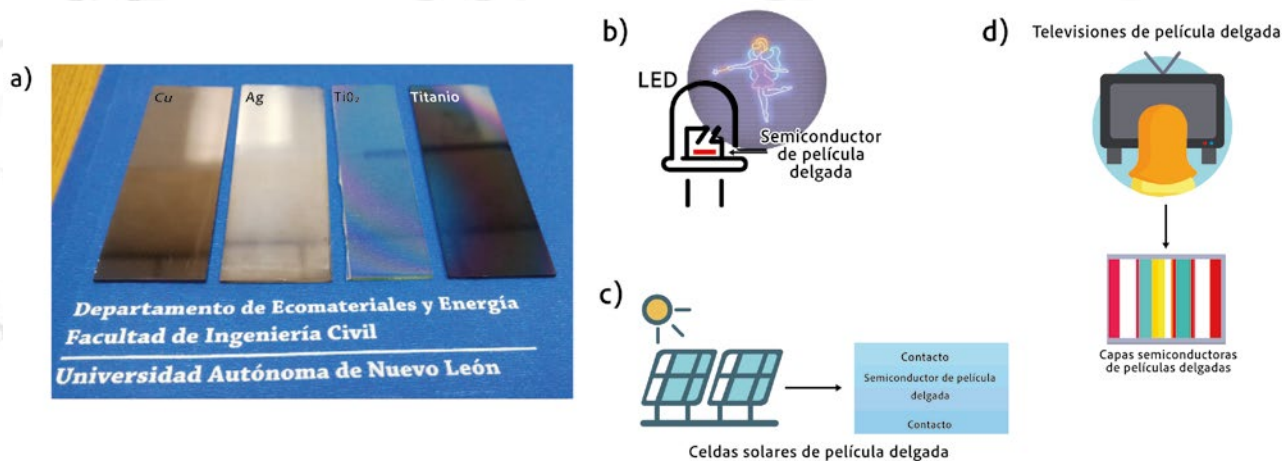


Figura 1. a) Imagen de películas delgadas cobre-Cu, plata-Ag, dióxido de titanio-TiO<sub>2</sub> y titanio-Ti obtenidas por erosión catódica en el Departamento de Ecomateriales y Energía. Las películas delgadas son utilizadas en b) diodos emisores de luz (LED), c) celdas solares y d) televisiones HD, entre muchas otras.

para proporcionar dureza en piezas mecánicas (Aida, *et al.*, 2018, Wang, *et al.*, 2021). Como ejemplo encontramos que los óxidos semiconductores de zinc (Zn), estaño (Sn), magnesio (Mg), entre otros, han sido utilizados en el desarrollo de sensores (Zulfa *et al.*, 2023), transistores (Yan *et al.*, 2022), detectores UV (Morari *et al.*, 2022), etcétera. Mientras que las películas de sulfuro de cadmio (CdS) han sido utilizados en aplicaciones de almacenamiento de energía, principalmente en celdas solares (Nowsherwan *et al.*, 2023). Todas estas investigaciones son posibles ya que las propiedades fisicoquímicas de los semiconductores proporcionan y aseguran la eficiencia para el buen funcionamiento de los dispositivos de película delgada.

## FABRICACIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS

En la actualidad existen diferentes técnicas para la obtención de películas delgadas de materiales semiconductores, las cuales se clasifican en técnicas físicas y químicas de depósito; ambas proporcionan diferentes propiedades fisicoquímicas que afectarán su eficiencia en la aplicación final del material. En general, las películas delgadas de diferentes óxidos semiconductores se obtienen a partir del depósito controlado de

las especies atómicas, moleculares o iónicas que constituyen el material. El espesor debería ser menor de los 300 nm, pero si tienen un espesor mayor a los 500 nm ya podrían considerarse como películas gruesas o recubrimientos (Seshan, 2002). Otro punto importante para considerar es que, por lo general, sólo se consideran películas delgadas las que son depositadas mediante el uso de técnicas físicas que involucran sistemas de alto vacío (Seshan, 2002); sin embargo, en la mayoría de la bibliografía científica ambas son consideradas como delgadas.

El crecimiento de estas membranas comienza por un proceso de nucleación aleatoria, seguida de diferentes etapas de nucleación y crecimiento. Estas últimas etapas dependerán de las condiciones de depósito, como la temperatura, la tasa de depósito y la interacción química en la superficie del sustrato. Además, la nucleación puede ser afectada por algunos agentes externos, como el bombardeo de iones o electrones en el caso de los depósitos por técnicas físicas. En este sentido, la técnica que se elija para depositar un material definirá las propiedades fisicoquímicas de las películas y sus posibles aplicaciones. Por ello es importante definir la aplicación final de la película para elegir la técnica de depósito a utilizar, las cuales se describen a continuación.

## Técnicas físicas y métodos químicos de depósito

Dentro de las técnicas físicas de depósito más utilizadas tenemos: por haces moleculares (*molecular beam epitaxy* MBE) (He *et al.*, 2023), por láser pulsado (*pulsed laser deposition* PLD) (Bleu *et al.*, 2023) y la pulverización catódica (*sputtering*) (Plugaru *et al.*, 2023). En las tres es necesario el uso de sistemas de ultra y alto vacío que favorecen la pureza de los materiales depositados, eliminando la presencia de contaminación y partículas dentro de las cámaras de depósito. Por ejemplo, la técnica por haces moleculares es una de las mejores, pues al utilizar ultraalto vacío ( $10^{-8}$ - $10^{-11}$  Torr) no hay partículas o gases que interfieran o contaminen el crecimiento del cristal. Sin embargo, ya que el crecimiento se da en una capa atómica a la vez, las velocidades de depósito son menores de 1  $\mu\text{m/h}$  (Seshan, 2002). Por otro lado, para depositar películas por láser pulsado es necesario un láser de alta energía, el cual es enfocado a la superficie de un blanco y, a través de pulsos, éste se vaporiza y se forma la película delgada (Seshan, 2002). Finalmente, en el caso de la pulverización catódica, el material es depositado a través del bombardeo de los átomos del material, los cuales viajan hasta la superficie del sustrato, como se observa en la figura 2a (Seshan, 2002).

Por otro lado, las películas delgadas depositadas por métodos químicos son ampliamente utilizadas en recubrimientos antibacteriales, superficies hidrofóbicas, fotocatalíticas, aplicaciones médicas, sensores electroquímicos, etcétera (Tomioka *et al.*, 2018; Angelina *et al.*, 2019). Estos métodos presentan la ventaja de que las soluciones precursoras son líquidas y permiten recubrir grandes áreas en diferentes tipos de sustratos, pues no están limitados por los portamuestras utilizados en las técnicas físicas.

Los métodos químicos permiten la fabricación de materiales amorfos y cristalinos, así como la obtención de películas delgadas de óxidos semiconductores, calcogenuros y compuestos de más de dos óxidos metálicos. Técnicas como el método sol gel o el depósito por baño

químico (Carrillo-Castillo *et al.*, 2022; Yan *et al.*, 2022) son de las más utilizadas debido a su facilidad de uso, pues sólo es necesario una solución precursora que contenga las sales metálicas, el solvente y un agente acomplejante cuya función sea retardar la reacción química entre el metal y el solvente. Por lo general, el crecimiento de las películas delgadas por estos métodos puede ser ion por ion o por medio de la interacción de partículas coloidales sobre el sustrato (figura 2b).

En el primer caso, los iones se colocan uno por uno al sustrato; mientras que, en el segundo, las partículas coloidales reaccionan con las especies disueltas, para después ser atraídas al sustrato mediante fuerzas Van der Waals. En este sentido, el método de adsorción y reacción de capas iónicas sucesivas (*Successive ion layer adsorption, and reaction, SILAR*), es un ejemplo del crecimiento ion por ion de una película delgada (Thirumoorthi *et al.*, 2022). Ya que el método consiste en la inmersión alternada del sustrato en una solución que contiene una sal soluble de cationes para después sumergirlos en otra que contiene una sal soluble de aniones. Por lo tanto, cationes y aniones van formando la película durante el transcurso de los ciclos de depósito.

Otro de los métodos químicos es la impresión de chorro de tinta, conocido en inglés como *ink-jet printing*. Éste se basa en la expulsión de pequeñas gotas de tinta líquida por medio de un orificio micrométrico sobre la superficie de un sustrato (Fuller, Wilhelm y Jacobson, 2002). La fabricación de películas delgadas mediante inyección de tinta representa numerosas ventajas como una alta homogeneidad, gran simplicidad, compatibilidad con una gran cantidad de sustratos y la posibilidad de imprimir en grandes áreas a un bajo costo.

Es importante señalar que al tratarse de métodos químicos hay que tener en cuenta diferentes parámetros durante la síntesis de los materiales, los cuales pueden modificar las propiedades fisicoquímicas de las películas. Por ejemplo, parámetros como el pH, la concentración de las soluciones precursoras, la temperatura, la pureza de los precursores, entre otros, ya que pueden afectar la calidad de la película y, por lo tanto, la eficiencia del proceso donde está siendo utilizada.

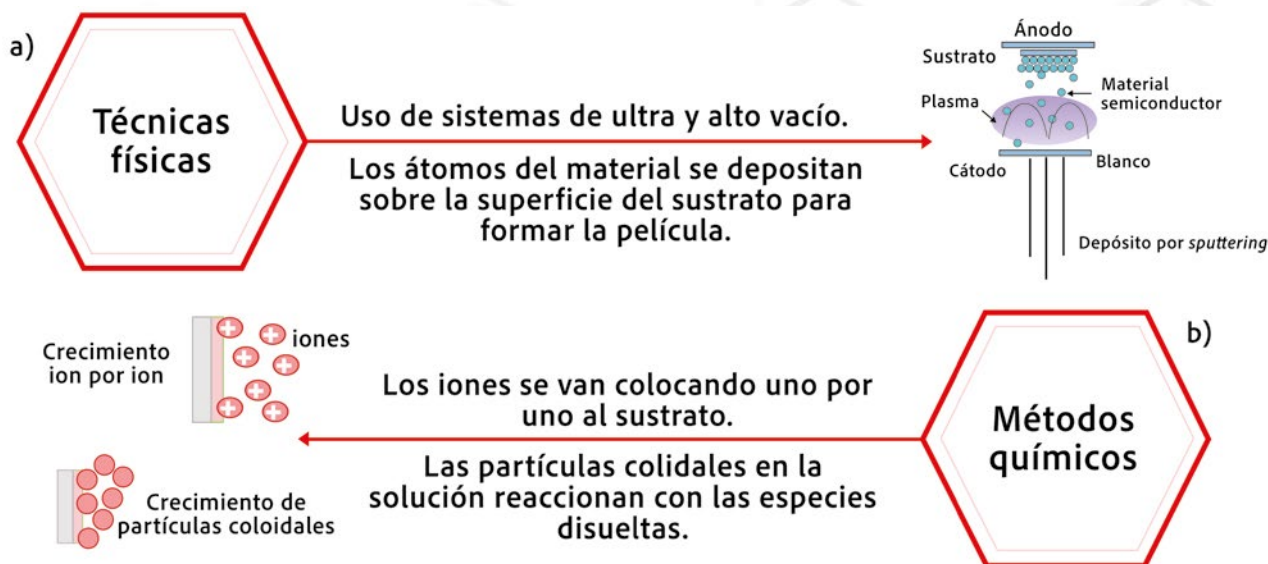


Figura 2. Crecimiento de las películas delgadas por las técnicas físicas y los métodos químicos de depósito.

## PELÍCULAS DELGADAS: CASOS DE ÉXITO

Hoy en día existen muchísimos casos de éxito en los que el uso de las películas delgadas ha permitido avances en el desarrollo tecnológico que se ha traducido en la generación de nuevos productos. Empresas como Intel® han logrado desarrollar procesadores de película delgada de alta tecnología, los cuales permiten que la eficiencia en nuestras computadoras y juegos sea cada vez mejor (intel, s.a.). Por otro lado, Samsung® ha innovado de tal manera sus procesos de depósito que ha logrado desarrollar chips de 3 nm, los cuales reducirán hasta 45% el consumo de energía y tendrán 16% menos de área superficial que los de 5 nm (Samsung, 2023).

Por todo esto, el desarrollo e investigación en películas delgadas ha sobrepasado su uso en dispositivos electrónicos, promoviendo el desarrollo de aparatos cada vez más eficientes. Aunado a esto, su uso y aplicación se perfila para desarrollarse eficientemente en otros campos de investigación como la medicina, siendo aplicadas para prótesis retíneas, válvulas cardíacas

y en distintos huesos, ya que la ventaja de depositar una película delgada sobre éstos permite una mayor durabilidad de los componentes, sin la necesidad de realizar segundas intervenciones quirúrgicas, mejorando la calidad de vida de las personas (Wang *et al.*, 2022).

Por otro lado, la ingeniería civil ha hecho uso de películas y recubrimientos en edificios expuestos a la intemperie. Empresas como View® han utilizado recubrimientos electrocrómicos para aprovechar la luz natural y minimizar el uso de aire acondicionado dentro de los edificios, lo que permite un ahorro significativo en el consumo de energía (View, 2023). Por otro lado, Lamosa® ha desarrollado recubrimientos cerámicos/porcelánicos con efecto antibacterial (Lamosa Pisos & Muros, s.a.), ofreciendo productos de alta calidad de fácil acceso a la sociedad.

En la tabla I se resumen las investigaciones científicas de las aplicaciones antes mencionadas que hacen uso de las películas delgadas, las cuales, y sin darnos cuenta, están a nuestro alrededor más de lo que hubiéramos imaginado.

Tabla I. Resumen de algunas de las aplicaciones de las películas delgadas.

Área	Tipos	Aplicación	Referencia
Energía	Óxidos semiconductores	Celdas solares	(Doyan, <i>et al.</i> , 2018) (Kato <i>et al.</i> , 2018)
Medicina	Óxidos semiconductores	Prótesis retínales	(Zhang <i>et al.</i> , 2020)
	Metales	Válvula cardiaca	(J. Tracy Tina Angelina <i>et al.</i> , 2019)
Constucción	Óxidos semiconductores	Antibacteriales y autolimpieza	(Wang <i>et al.</i> , 2021)
Metales	Óxidos semiconductores	Anticorrosión	(Zhang <i>et al.</i> , 2020)
Electrónica	Óxidos semiconductores	Transistores	(Park, Kang y Kim, 2019)
		Capacitores	(Li <i>et al.</i> , 2021)
		Pantallas táctiles	(Doyan, <i>et al.</i> , 2018)

## REFERENCIAS

Angelina, J.T.T., *et al.* (2019). *In vitro* haemocompatibility and cytocompatibility evaluation of silver thin film-deposited heart valve prosthesis material. *Mater Technol.* 34(8):471-479.

Bleu, Y., *et al.* (2023). Towards Room Temperature Phase Transition of W-Doped VO<sub>2</sub> Thin Films Deposited by Pulsed Laser Deposition. *Materials.* 16:1-14.

Carrillo-Castillo, A., *et al.* (2022). New Formulation to Synthesize Semiconductor Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> Thin Films Using Chemical Bath Deposition for Optoelectronic Applications. *Symmetry.* 14:2487.

Doyan, A., Imawanti, Y.D., y Gunawan, E.R. (2018). Characterization Thin Film Nano Particle of Aluminum Tin Oxide (AlTO) as Touch Screen. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1097:012009.

Fuller, S.B., Wilhelm, E.J., y Jacobson, J.M. (2002). Ink-Jet Printed Nanoparticle Microelectromechanical Systems. *J Microelectromech Syst.* 11(1):54-60.

He, X., *et al.* (2023). Optimization of La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> Single Crystal Film Growth via Molecular Beam Epitaxy. *Condens. Matter.* 8:13.

Intel. (s.a.). 2023. Disponible en: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/homepage.html>

- Kato, T., *et al.* (2018). Record Efficiency for Thin-Film Polycrystalline Solar Cells Up to 22.9% Achieved by Cs-Treated Cu(InGa) (Se,S)<sub>2</sub>, *J-PV*. 9(1):1-6. Lamosa Pisos & Muros. (s.a.). Disponible en: <https://lamosa.com/idea/espacios-para-jugar/>
- Li, X., *et al.* (2021), Ferroelectric Properties and Polarization Fatigue of La:HfO<sub>2</sub> Thin-Film Capacitors', *Phys. Status Solidi RRL*. 15(4):1-7.
- Morari, V., *et al.* (2022). Spin-Coating and Aerosol Spray Pyrolysis Processed Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O Films for UV Detector Applications. *Nanomaterials*. 12:3209.
- Nowsherwan, G.A., *et al.* (2023). Preparation and Numerical Optimization of TiO<sub>2</sub>:CdS Thin Films in Double Perovskite Solar Cell. *Energies*. 16:900.
- Park, J.W., Kang, B.H., y Kim, H.J. (2019). A Review of Low-Temperature Solution-Processed Metal Oxide Thin-Film Transistors for Flexible Electronics', *Adv. Funct. Mater.* 30(20):1-40. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/adfm.201904632>.
- Plugaru, R., *et al.* (2023). Light-Sensing Properties of Amorphous Vanadium Oxide Films Prepared by RF Sputtering. *Sensors*. 23(4):1759.
- Samsung. (2023). Disponible en: <https://semiconductor.samsung.com/newsroom/news/samsung-begins-chip-production-using-3nm-process-technology-with-gaa-architecture/>
- Seshan, K. (2002). *Handbook Of Thin-Film Deposition Processes And Techniques. Principles, Methods, Equipment and Applications*. K. Seshan. Norwich, New York, U.S.A.: William Andrew Publishing.
- Thirumoorthi, M., *et al.* (2022). High responsivity n-ZnO/p-CuO heterojunction thin film synthesised by low-cost SILAR method for photodiode applications. *Opt. Mater.* 128:112410.
- Tomioka, K., *et al.* (2018). Photosensing circuit using thin-film transistors for retinal prosthesis. *JJAP*. 57:1002B1.
- View. (2023). Disponible en: <https://view.com/product>
- Wang, H., *et al.* (2022). Degradation Study of Thin-Film Silicon Structures in a Cell Culture Medium. *Sensors*. 22:1-12.
- Wang, T., *et al.* (2021). A compound of ZnO/PDMS with photocatalytic, self-cleaning and antibacterial properties prepared via two-step method. *Appl. Surf. Sci.* 550:149286. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.149286>
- Yan, X., *et al.* (2022). Fabrication and Properties of InGaZnO Thin-Film Transistors Based on a Sol-Gel Method with Different Electrode Patterns. *Micromachines*. 13:2207.
- Zhang, D., *et al.* (2020). Electrochemical Corrosion Behavior of Ni-doped ZnO Thin Film Coated on Low Carbon Steel Substrate in 3.5% NaCl Solution. *Int. J. Electrochem. Sci.* 15:4117-4126.
- Zulfa, V.Z., *et al.* (2023). Highly Sensitive ZnO/Au Nanosquare Arrays Electrode for Glucose Biosensing by Electrochemical and Optical Detection. *Molecules*. 28:617.

Descarga aquí nuestra versión digital.

