

Aplicaciones tecnológicas de películas delgadas

JUAN PEDRO ESPINÓS MANZORRO

Resumen:

En esta presentación se describen algunas de las aplicaciones tecnológicas actuales más relevantes de las películas sólidas delgadas, tanto para la mejora de aquellos otros materiales a los que recubren, como en la fabricación de dispositivos laminares de estado sólido.

Dentro del primer grupo de aplicaciones se describirán algunas de las películas empleadas en el control de la transmisión o de la reflexión de luz (en lentes, filtros, espejos, vidrios planos, etc.), de la biocompatibilidad (en implantes medicoquirúrgicos, etc.), de la afinidad química (en sensores, tejidos, elementos ópticos, etc.) o de la apariencia estética (brillo, color, iridiscencia, etc.) de aquellos elementos o piezas a los que recubren.

Dentro del segundo conjunto se describirá el empleo de sistemas multilaminares en la fabricación de dispositivos ópticos (filtros y espejos dicróicos, divisores de haz, discos de almacenamiento de datos, etc.), y dispositivos electrónicos (transistores, pantallas de comunicación, celdas fotovoltaicas, etc.).

1. Introducción

La inmensa mayoría de los dispositivos tecnológicos avanzados fabricados en la actualidad por cualquier rama de la industria (electrónica, mecánica, óptica, energía, transporte, deporte, etc.), requieren en algún momento de su construcción de la síntesis y el apilamiento sucesivo de pequeñas rodajas de materiales sólidos de espesores inferiores a una micra (10^{-3} mm), que denominamos películas o capas finas. Por su extrema delgadez y fragilidad estas películas no se suelen emplear aisladas, sino que se hallan soportadas sobre otros sólidos de mayor grosor y distintas propiedades físicas o químicas que denominamos sustratos (ver Figura 1a).

En términos generales las películas delgadas se emplean para dos finalidades: la más simple, optimizar alguna o varias de las propiedades de los sustratos a los que recubren o incluso dotarlos de propiedades nuevas. En este caso, nos solemos referir a las películas delgadas con el término “recubrimiento”. La segunda aplicación general es la fabricación de dispositivos con propiedades fisicoquímicas específicas y singulares, que guardan muy poca o ninguna relación con las propiedades iniciales del sustrato, que se comporta aquí como un mero soporte físico. Para este segundo tipo de aplicación no se emplean capas sencillas, sino sistemas multilaminares estratificados. (ver Figura 1b).

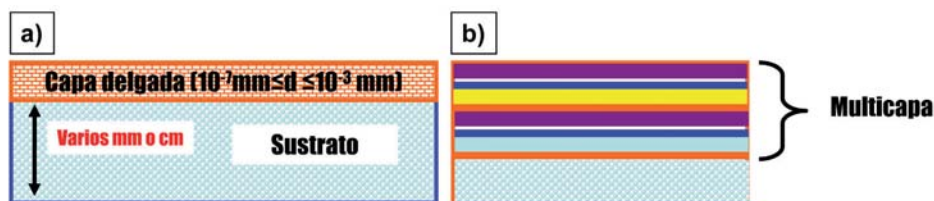


Figura 1. Esquemas de una capa delgada recubriendo un sustrato (a), y de un sistema multicapa estratificado (b), con indicación de los grosores relativos de películas y sustrato.

Para que una película delgada cumpla con su cometido, ya sea empleada como recubrimiento o formando parte de una multicapa estratificada, es necesario que la misma tenga perfectamente definidas, entre otras, las siguientes características:

- Su grosor, que podrá variar desde una sola capa de átomos (10^{-7} mm) hasta varias micras (10^{-3} mm).
- Su composición química (con estequiometrías que pueden ser muy complejas y control de impurezas que

en los casos más exigentes pueden llegar a ser de una parte en varios millones).

c) Su estructura cristalina (amorfa, mono o policristalina, polimorfismo) y microestructura cristalina (tamaño cristalito, orientación, textura ...), etc..

Estas características composicionales y estructurales determinarán las propiedades de cada capa y por ende del conjunto, como por ejemplo:

i) Su naturaleza eléctrica (conductor, aislante, semiconductor, ...).

ii) Su comportamiento frente a la luz (transparente, reflectante, absorbente...).

iii) Su comportamiento mecánico (duro, blando, frágil, tenaz,...).

iv) Su comportamiento magnético (ferromagnético, antiferromagnético, paramagnético, ...).

v) Su comportamiento químico (reactivo, inerte, catalítico, sensor, biocompatible, biocida,...), etc.

Como consecuencia de la delgadez de las películas y de las exigencias anteriores, se precisan para su fabricación reactores y técnicas especiales que se hallan en continua evolución y progreso dado el interés de la industria por desarrollar dispositivos mejorados, aumentar su producción y abaratar su precio. Igualmente, se necesitan instrumentos y técnicas de caracterización muy sofisticados para lograr la determinación precisa de las propiedades requeridas.

2. Contenidos

2.1. Campos de aplicación de la tecnología de películas delgadas

Entre los campos tecnológicos donde se hace un uso extensivo de películas delgadas podemos destacar por su relevancia los siguientes:

- En la fabricación de máquinas, motores y herramientas de corte, para aumentar su dureza y su resistencia a la abrasión, evitar la corrosión y el deterioro térmico de piezas sujetas a desgaste (brocas, fresas, rodamientos, engranajes, sierras, pistones, turbinas, etc.).

- En la fabricación de componentes ópticos (lentes, espejos, filtros, vidrios planos, etc.), para mejorar las propiedades de reflexión y transmisión de luz de los mismos y evitar su corrosión atmosférica.

- En la fabricación de dispositivos electrónicos de estado sólido (transistores, memorias, condensadores, resistores, superconductores, diodos, fotodiodos,...), que constituyen la base de la electrónica.

- En la construcción de superficies bidimensionales, para el almacenamiento magnético de datos y sensores de campo magnético.

- En la fabricación de celdas fotovoltaicas y colectores térmicos solares, para el aprovechamiento de la energía solar.

- En la fabricación de pantallas (monitores), para la comunicación visual entre humanos y entre estos y sus máquinas.

- En la fabricación de sensores (químicos, luminosos, acústicos,...), para modificar su sensibilidad, selectividad y velocidad de respuesta.

- Para la modificación de la apariencia estética (color, brillo) de elementos ornamentales y de consumo, para hacerlos más atractivos.

- Para regular la capacidad de mojado por líquidos (hidrofilicidad o hidrofobicidad), en la obtención de superficies autolimpiables (fachadas, vidrios de ventana, parabrisas, espejos...) y tejidos.

- Para regular la adhesión celular (biocompatibilidad), en la superficie de prótesis quirúrgicas (dentales, de cadera, de rodilla, cardíacas, abdominales, ...).

En nuestro Instituto se viene trabajando desde hace casi dos décadas tanto en la fabricación como en la caracterización de películas delgadas con aplicaciones muy diversas. En la actualidad, dos grupos de investigación se ocupan casi en exclusiva a esta temática. El grupo al que pertenezco, denominado "Superficies, Intercaras y Capas Finas", se ha concentrado fundamentalmente en la fabricación y caracterización de películas transparentes de óxidos (TiO_2 , SiO_2 , SnO_2 , In_2O_3 , CeO_2 , ZnO , ZrO_2 ,...) para su empleo en aplicaciones ópticas, eléctricas y químicas. Para ello, se ha dotado de reactores de síntesis, de diseño y construcción propios que emplean las principales técnicas de síntesis en fase vapor conocidas actualmente, tanto de naturaleza física (evaporación por bombardeo electrónico, evaporación por desbastado catódico), como de origen químico

(CVD térmica, CVD inducida por iones y diversas CVD inducidas por plasma) (ver Figura 2). Simultáneamente, los miembros del grupo han adquirido el instrumental y la formación necesarios para llevar a cabo el análisis de las principales propiedades demandadas a cada película particular (ver Figura 3). A continuación se describen algunos de los resultados más sobresalientes obtenidos recientemente.

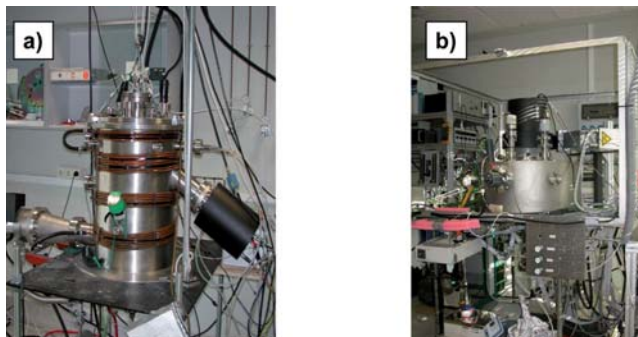


Figura 2. Fotografías de dos reactores dedicados a la síntesis de películas delgadas: a) de tipo PVD y evaporación por bombardeo electrónico, y b) de tipo CVD asistido por plasma. En el primer caso, la película sólida se forma por condensación de vapores, en el segundo, por reacción entre reactivos gaseosos, parte de los cuales han sido transformados en un plasma (mezcla compleja en equilibrio eléctrico de moléculas y átomos electrónicamente excitados, moléculas y átomos ionizados, y electrones).



Figura 3. Fotografía de espectrómetro de electrones de rayos X (XPS), dedicado al análisis de la composición química y de la estructura electrónica de películas delgadas. El instrumento cuenta con dos reactores anexos para el tratamiento y la fabricación in situ de sustratos y películas delgadas.

2.2. Películas densas conductoras iónicas, para su empleo en celdas de combustible

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos de estado sólido que permiten obtener electricidad directamente a partir de una reacción redox, donde los reactivos químicos, usualmente O_2 y un combustible (H_2 , metanol, ...), se suministran separadamente y de forma continua a los compartimentos anódico y catódico de la celda. A diferencia de las baterías, las celdas de fuel no se agotan, pues los electrodos no modifican su composición con el transcurso del tiempo, sino que se comportan como catalizadores de la reacción de oxidación. Un elemento clave en la celda de combustible es el conductor iónico sólido, material que separa los compartimentos anódico y catódico e impide la mezcla directa de los reactivos, pero que permite la difusión de iones oxígeno a su través. Un modo de mejorar la eficiencia de una celda de combustible es fabricar el conductor iónico en forma de película delgada muy densa, que impida la difusión de gases a su través. En la figura 4 se presenta una película de CeO_2 preparada para tal finalidad, que ha sido crecida buscando maximizar simultáneamente su conductividad iónica y su densidad.

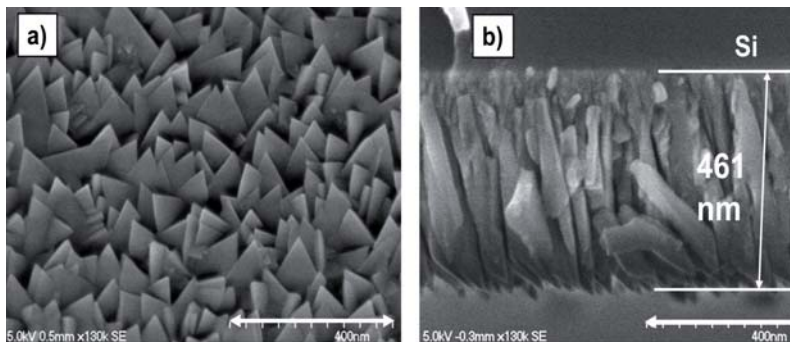


Figura 4. Microfotografías obtenidas en el microscopio electrónico de barrido (SEM) de una película densa de CeO_2 depositada sobre Si, obtenida por condensación de vapores de CeO_2 en presencia de O_2 . Se muestran la misión plana (a) y la transversal (b), en las que se observan cristalitas prismáticos apilados paralelamente y terminados en base piramidal.

2.3. Películas altamente porosas y transparentes a la luz visible, para su uso en óptica

La porosidad y la transparencia a la luz visible suelen ser dos propiedades mutuamente incompatibles en un material sólido: la presencia de poros en un material intrínsecamente transparente suele conferir al mismo una apariencia lechosa y hacerlo translúcido o completamente opaco. La razón de ello es que la luz es dispersada en los defectos y oquedades, impidiendo su transmisión. En nuestro grupo, hemos logrado preparar películas delgadas donde los fenómenos de dispersión quedan circunscritos exclusivamente a la zona ultravioleta del espectro y que son, por ello, transparentes en la zona visible e infrarroja. Este resultado se consigue ajustando convenientemente el tamaño, orientación y separación mutua de los cristalitas que componen la película. En la figura 5 se presentan resultados de una película de SiO_2 altamente porosa y transparente.

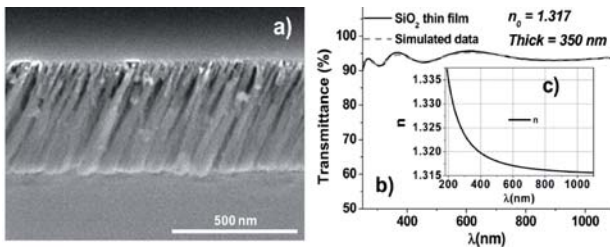


Figura 5. a) Microfotografía de microscopio electrónico de barrido, en sección transversal, de una película de SiO_2 preparada para hacerla altamente porosa mediante la técnica GLAD-PVD, y b) sus espectros de transmisión, experimental y simulado, en el rango visible-IR, donde se observa su alta transparencia y bajo índice de refracción. En el inserto se representa la evolución de su índice de refracción con la longitud de onda.

Una aplicación novedosa de las películas porosas transparentes es la infiltración en sus poros de un segundo material que las dote de una propiedad añadida. En nuestro grupo, hemos llenado parcialmente estos poros con diversas moléculas orgánicas coloreadas y con nano partículas de metales y semiconductores, con el fin de explotar sus propiedades ópticas y sensoras.

3. Bibliografía

- Albella J.M. (ed.) (2003): *Láminas delgadas y recubrimientos. Preparación, propiedades y aplicaciones*. Biblioteca de Ciencias 11. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Gissler, W., y Jehn, H.A. (eds.) (1992): *Advanced techniques for Surface Engineering*. Kluwer Academic Publishers.
- Vossen, John L., y Kern W. (eds.) (1991): *Thin Film Processes II*. Academic Press, 1991.
- Schnegraf, Klaus K. (1988): "Handbook of Thin-Film Deposition Processes and Techniques". *Principles, Methods, Equipment and Applications*. Noyes Publications, Mill Roael.
- Bach, H., y Krause, D.: *Thin Films on Glass*. Berlin. 1997.
- Mansilla, C., Holgado, J.P., Espinós, J.P., González-Elipe, A.R., y Yubero, F. (2007): "Microstructure and transport properties of ceria and samaria doped ceria thin films prepared by EBE-IBAD". *Surface and Coatings Technology* 202 1256-1261.
- Sánchez-Valencia, J.R., Blaszczyk-Lezak, I., Espinós, J.P., Hamad, S., González-Elipe, A.R., y Barranco A. (2009): "Incorporation and thermal evolution of Rhodamine 6G Dye Molecules adsorbed in Porous Columnar Optical SiO_2 thin Films". *Langmuir* 25(16) 9140-9148.