

Determinación del índice de refracción de películas delgadas crecidas en condiciones crioscópicas por medio de la medida de reflectancia a un ángulo de incidencia

M. A. Satorre, R. Luna, C. Santonja, M. Domingo, C. Millán

Centro de Tecnologías Físicas
Universitat Politècnica de València
46022 Valencia, Spain
e-mail: msatorre@fis.upv.es

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta un nuevo método de obtención de índices de refracción y espesores de películas delgadas, desarrollado por el grupo de astrofísica del Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica, cuyo laboratorio se encuentra en la Escuela Politécnica Superior de Alcoy. La novedad del método radica en el hecho de que el índice puede ser obtenido únicamente con la medida de la reflectancia mientras la película es crecida sobre un sustrato, en nuestro caso de oro.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los métodos empleados para evaluar estos parámetros mencionados, necesitan de la medida de una o dos magnitudes dependiendo de si se conoce el valor de uno o ninguno de ellos. Si no se dispone de alguno de estos parámetros, se necesitan dos medidas para poder cumplir con este cometido que podrían ser: las reflectancias de dos ondas incidiendo con vectores eléctricos paralelo y perpendicular al plano de incidencia; la transmitancia y la reflectancia; dos medidas de reflectancia a diferentes ángulos, múltiples medidas de reflectancia para diferentes ángulos. Estos procedimientos se pueden aplicar a películas que crecen por acreción o por cualquier otro procedimiento. En el caso de las aplicaciones astrofísicas, las condiciones específicas en una parte importante de los laboratorios que realizan estas medidas incapacitan para llevar a cabo la medida de la transmitancia; por lo tanto, la reflectancia se convierte en la única media de la que servirse, que, para el caso de películas delgadas viene dada por la ecuación

$$\mathbf{R} = \frac{(r_1^2 + 2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cos(2 \cdot \delta_1) + r_2^2)}{(1 + 2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cos(2 \cdot \delta_1) + r_1^2 \cdot r_2^2)} \quad (1)$$

En esta ecuación r_1 y r_2 , son los coeficientes de Fresnel y δ_1 viene dado por la expresión

$$\delta_1 = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot n(\lambda) \cdot d \cdot \cos \vartheta_r \quad (2)$$

La forma de trabajar se basa en obtener la reflectancia tomando como variable cualquiera de los siguientes parámetros: espesor de la película, ángulos de incidencia o la longitud de onda [1-3]. La ecuación 1 modificada de la forma adecuada, capacita para obtener el índice de refracción y el error.

EXPERIMENTAL

Para obtener las curvas de la reflectancia a dos ángulos de incidencia diferentes se utilizan dos láseres de 0,5 mW ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$) que inciden con ángulos α y β sobre la película de hielo en proceso de crecimiento y cuya disposición puede verse esquemáticamente en la Figura 1.

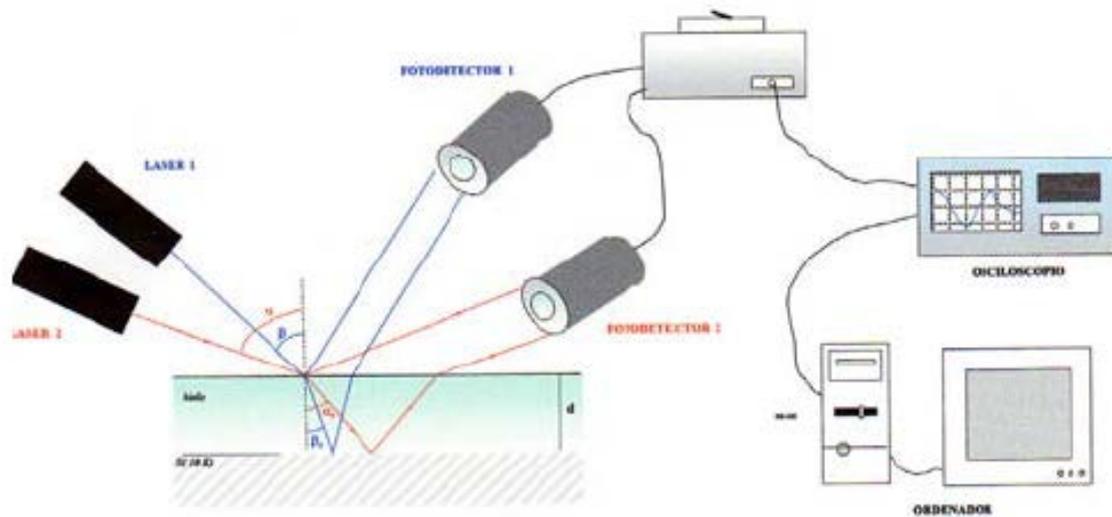


Figura 1. Esquema experimental con la película

FUNDAMENTO DEL MÉTODO

En la Figura 2 se puede observar los patrones de interferencia obtenidos para dos depósitos realizados sobre el sustrato de Au a 10 y 63 K, incidiendo el haz láser con un ángulo de 75° .

Lo que interesa desde el punto de vista de nuestro estudio es que ambos patrones muestran una discrepancia en el inicio del depósito; se observa que del punto de partida hasta llegar al primer extremo transcurre una fracción del periodo diferente en cada caso. En ambos experimentos, los ángulos de incidencia son idénticos y se deposita la misma molécula, pero a diferentes temperaturas, lo que modifica la estructura del hielo formado y su índice de refracción.

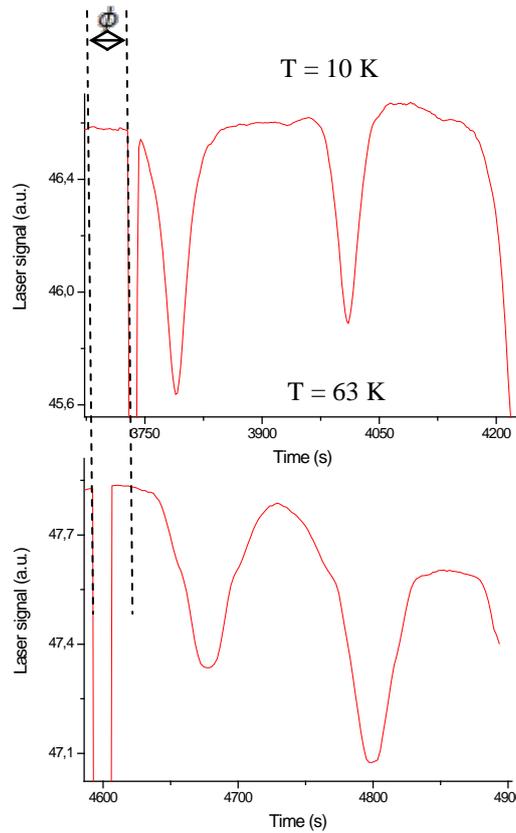


Figura 2. Patrones de interferencia a dos temperaturas de depósito para el dióxido de carbono

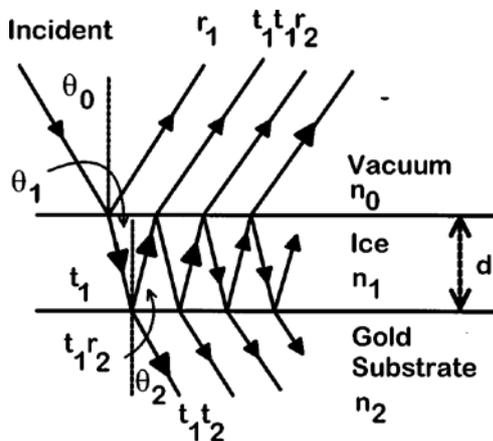


Figura 3. Refracción en una película delgada

El fenómeno de interferencia que se produce entre los múltiples haces reflejados que resultan al incidir el procedente de un láser (en nuestro caso con longitud de onda igual a 632nm) es como sigue: el primer haz se descompone en uno reflejado y otro refractado; este último repite el fenómeno sobre el sustrato dando lugar a lo que se observa en la Figura 3.

La clave para entender el patrón de interferencia de películas delgadas es la diferencia de caminos ópticos entre los haces que surgen de la misma que, en principio, está gobernada por el crecimiento de la película en espesor y sobre la que también influyen, por supuesto, el índice de refracción y el ángulo de incidencia. Sin embargo, una cuestión que en general no es tenida en cuenta, es el efecto de la reflexión sobre la superficie del sustrato, de oro en nuestro esquema experimental. La reflexión sobre la superficie del sustrato es importante porque, por poseer un índice de refracción complejo, produce un

adelantamiento o un retraso de la fase entre la onda reflejada y la incidente, que es independiente del espesor de la película.

Matemáticamente lo que interesa es encontrar una relación de la forma expresada en la ecuación 3, que relacione el ángulo de incidencia θ_0 , el índice de refracción de la película n_1 (parámetro que se debe averiguar) y el índice de refracción del oro $n_g+i\cdot k_g$.

$$\phi = f\left(\theta_0, n_1, n_g - i\cdot k_g\right) \quad (3)$$

Esta ecuación se obtendría despejando la fase ϕ que aparece en el coeficiente de Fresnel [4], aplicando la ley de Snell (ecuación 5) para pasos intermedios e introduciendo el índice de refracción complejo para el oro, lo que lo libera de la visión geométrica asociada a los fenómenos ópticos.

$$r_{\perp} = \left(\frac{E_{or}}{E_{oi}}\right)_{\perp} = \frac{n_1 \cdot \cos \vartheta_1 - \left(n_g - i k_g\right) \cdot \cos \vartheta_2}{n_1 \cdot \cos \vartheta_1 + \left(n_g - i k_g\right) \cdot \cos \vartheta_2} = \rho_{\perp 12} \cdot e^{i\cdot\phi} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} 1 \cdot \text{sen} \theta_0 &= n_1 \cdot \text{sen} \theta_1 \\ n_1 \cdot \text{sen} \theta_1 &= \left(n_g - i k_g\right) \cdot \text{sen} \theta_2 \end{aligned} \quad (5)$$

A partir de estas expresiones es posible obtener, mediante el software adecuado el índice de refracción de la película conocido el del oro a la longitud de onda de nuestro láser.

CONCLUSIONES

En la presente comunicación se describe un procedimiento totalmente innovador que permite obtener el índice de refracción de películas delgadas sin necesidad de crecerlas un espesor muy elevado, lo que puede provocar falta de homogeneidad en la totalidad de la película por limitaciones en la transmisión térmica. Este método habilita para obtener el parámetro indicado del patrón de interferencia obtenido a partir de tan sólo los dos primeros extremos.

REFERENCIAS

- [1] Tempelmeyer, K. E., *Journal of Applied Physic*, 39, 2968 (1968).
- [2] Ishikawa, K., *Optics and lasers in engineering*, 41, 19-29 (2004).
- [3] Lunacek, J et al., *Applied Optics*, 48, 985 (2009).
- [4] Born, M. and Wolf, E., "Principles of Optics", Pergamon Press (1970).