

Diseño y construcción de un elipsómetro para la caracterización de películas delgadas

(Películas delgadas, Celdas solares)

Ronald M. Pastor Rodríguez⁽¹⁾, Hilda M. Quispe Abarca⁽²⁾, Luis Alberto Montoya Portugal⁽³⁾, Juan Ernesto Palo Tejada⁽⁴⁾

Departamento Académico de Física, Universidad Nacional de San Agustín

Av. Independencia s/n, Arequipa

(1) rpastorr@unsa.edu.pe, (2) hquispe4@unsa.edu.pe, (3) almontoyap@hotmail.com, (4) debianaqp@terra.com

Resumen

La elipsometría es una herramienta fundamental para la caracterización de películas delgadas. Esta técnica además de tener una alta precisión también es barata y relativamente fácil de llevar a cabo. Debido a esto se está implementando un elipsómetro de reflexión del tipo nulo utilizando elementos ópticos con que cuenta nuestro laboratorio de enseñanza en óptica. Se ha logrado ajustar la polarización circular con una variación máxima de 7,3% obteniendo con esto una gran cercanía a la simetría esperada en los ángulos del analizador para la determinación de nulos de intensidad en el proceso de reflexión sobre una placa delgada de vidrio. Un efecto a tomar en cuenta es el ensanchamiento del haz debido a las múltiples reflexiones sobre la muestra y la divergencia natural del haz, lo que influirá en el análisis “puntual” de las películas.

1.- Introducción

La luz ha sido usada por los científicos para medir espesores desde hace mucho tiempo. En los años 1700 Boyle, Hooke y Newton observaron luz de colores como resultado de la interferencia en capas delgadas transparentes. Brewster nota que estas observaciones son de interés para la determinación de espesores de cuerpos delgados transparentes por medio de los colores. Este fenómeno usa la intensidad de la luz y es la base de la técnica actual llamada “Reflectometría”. En los comienzos de los 1800 fue desarrollado el concepto de polarización. En los finales de los 1800 Drude usa las componentes mutuamente perpendiculares de la luz polarizada para medir espesores de películas hasta unas decenas de angstroms. Cuando las componentes mutuamente perpendiculares de la luz están fuera de fase, se considera a la luz “elípticamente polarizada” por lo que la técnica tempranamente desarrollada por Drude se denomina “Elipsometría”. Hoy en día las aplicaciones y formas de la elipsometría son variadas. Los elipsómetros que usan una sola longitud de onda han sido dejados para las mediciones rutinarias de espesores e índices de refracción en la deposición de películas delgadas, mientras que la elipsometría espectroscópica tiene mayor uso en el estudio de estructuras complejas de películas delgadas. Por otra parte, una de las formas de obtener celdas solares es mediante la técnica de películas delgadas depositando películas del orden de micrómetros, técnica que puede disminuir los costos en la producción y materiales usados [1].

En el presente trabajo se presentan los primeros resultados del diseño y construcción de un elipsómetro de reflexión del tipo nulo de tal manera pueda ser usado para la caracterización rutinaria de películas depositadas en nuestro laboratorio de películas delgadas.

2.- Método

Se ha escogido el elipsómetro del tipo nulo por su mayor simplicidad de manejo y bajo costo de elaboración con accesorios y equipos que se pueden encontrar comúnmente en un laboratorio de óptica. El elipsómetro de reflexión del tipo nulo se caracteriza por que al hacer incidir un haz de luz polarizada lineal o circularmente y girar los ejes de los elementos que modifican tanto el ángulo del polarizador como el del analizador se encuentre un nulo de intensidad.

Los equipos y componentes usados se enlistan a continuación:

- Un láser Melles Griot de 15 mW, 632,8nm de longitud de onda
- 02 polarizadores Edmund Scientific Co. de 42mm ($\pm 1^\circ$)
- 02 láminas $\lambda/4$ Leybold Heraus ($\pm 5^\circ$)
- 01 abertura tipo iris Leybold Heraus
- 01 espectrómetro con goniómetro Euromax ($\pm 0.5^\circ$ y $\pm 0.5^\circ/30$ en el goniómetro)
- 01 sensor óptico basado en un fotodiodo

En este primer artículo se analiza las cualidades de cada uno de las componentes con que se cuenta en nuestro laboratorio de óptica y que nos pueda servir para la construcción de un elipsómetro de reflexión de tipo nulo.

Nuestro elipsómetro está basado en la configuración dada por Álvarez [2]. En la figura siguiente se muestra un esquema del arreglo experimental.

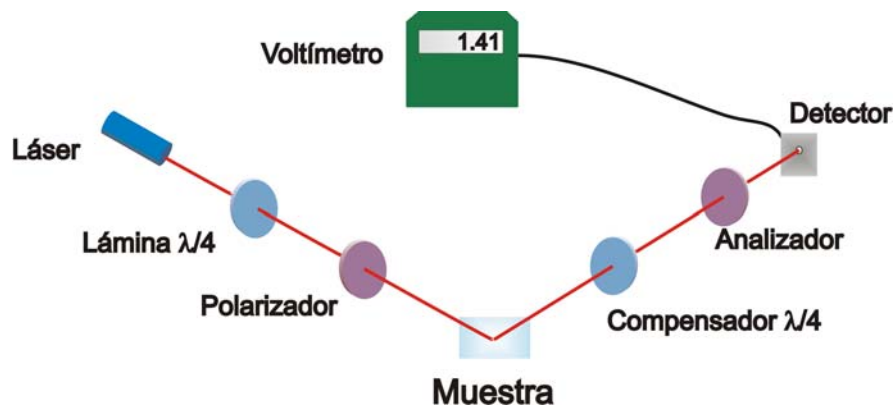


Figura 1 Arreglo experimental del elipsómetro de reflexión de tipo nulo

Cabe indicar que la razón del retardador $\lambda/4$ antes del polarizador es para obtener una mejor conformación de luz polarizada circularmente incidente en el polarizador. Después del alineamiento, la conformación de la luz polarizada circularmente es un paso crítico a seguir.

El análisis elipsométrico se basa en la determinación de los ángulos elipsométricos ψ y Δ relacionados con el cociente de los coeficientes de reflexión complejos de Fresnel por [2][3].

$$\rho = \frac{r_p}{r_s} = \tan \psi \cdot e^{i\Delta} \quad (1)$$

El procedimiento consiste en hallar los ángulos apropiados para eliminar la intensidad de luz en el detector. Según la configuración escogida se puede hallar nulos con ángulos en el analizador A_i y $A_i + \pi/2$ y ángulos en el polarizador que cumplan la relación $P_i + P_j = \pi$ [2].

3.- Resultados y análisis

La configuración final del prototipo de elipsómetro de reflexión de tipo nulo se muestra en la siguiente figura.



Figura 2 Elipsómetro de reflexión de tipo nulo

En un primer análisis se encontró que la calidad y estabilidad de la fuente de luz láser influye de manera importante en la determinación de los parámetros elipsométricos. Algunas de las fuentes de luz láser podrían no ser apropiadas por la variación hasta de un 10 % en la intensidad proporcionada. El láser escogido Melles Griot mostró una estabilidad con una variación menor al 1% en su intensidad durante un tiempo de un minuto. Por otra parte los polarizadores $\lambda/4$ utilizados tienen una escala de baja precisión lo que limita el grado de precisión que se obtiene en la determinación de los parámetros elipsométricos. A pesar de esto se consiguió polarización circular con una diferencia máxima menor al 7,3 % entre valores de intensidad a diferentes ángulos en el polarizador. Estos resultados se resumen en la gráfica de la figura 3.

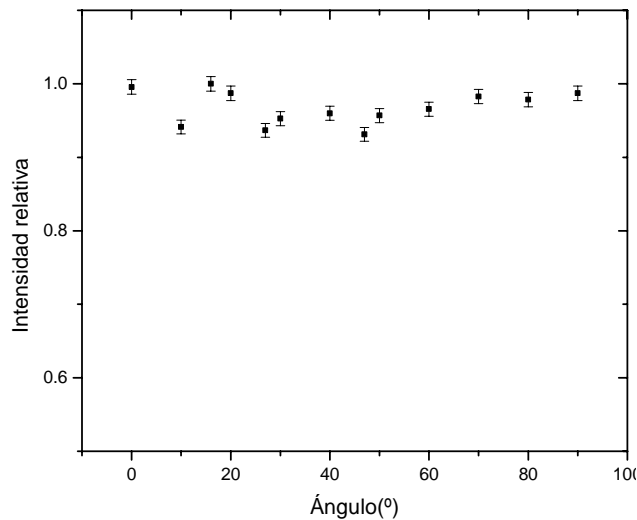


Figura 3 Ajuste de la polarización circular del haz incidente mediante la intensidad relativa a varios ángulos en el polarizador.

La mejor polarización circular se consiguió con un ángulo de 72° aproximadamente en la lámina retardadora $\lambda/4$. No fue posible observar polarización para un ángulo $\pi/4$ debido en parte a que el polarizador produce el desfase en las componentes de la luz de forma exacta, para una luz en el centro del espectro visible.

El alineamiento se ha realizado básicamente considerando el haz reflejado en cada uno de los componentes, siguiendo las recomendaciones dadas por Álvarez [2].

Por último se comprobó la existencia de nulos de intensidad al hacer reflejar luz polarizada circularmente sobre una placa de vidrio encontrando ángulos del analizador en $A=88^\circ$ y $A=-91^\circ$ para un ángulo de incidencia de $\phi=79,15^\circ$ lo que comprueba en parte la relación entre los ángulos en el analizador para encontrar valores nulos.

4.- Conclusiones

Fue posible obtener un elipsómetro de reflexión de tipo nulo con elementos ópticos que comúnmente cuenta un laboratorio de enseñanza de óptica. La estabilidad de la luz láser y de la respuesta del detector, baja razón ruido señal, proporciona una mayor fiabilidad en los resultados. Aun no se ha establecido la influencia del grado de la no polarización circular en la obtención de nulos. Adicionalmente hay varios efectos que se deben tomar en cuenta, el grado de polarización de los elementos polarizadores es bueno pero limitado $>99\%$, la reflexión en las diferentes superficies de la muestra y la divergencia natural del haz hace necesario controlar el ensanchamiento del haz para limitar lecturas de intensidad de luz reflejada provenientes de un solo “punto” sobre las películas en estudio.

5.- Referencias bibliográficas

1. Crystalline Silicon Solar Cells, Adolf Goetzberger, Joachim Knobloch, Bernhard Voß, John Wiley & Sons, UK, 1998.
2. Álvarez Herrero Alberto, Caracterización Elipsométrica de Materiales Dieléctricos de Aplicación en el Desarrollo de Sensores Evanescentes de Fibra Óptica para el Sector Aeroespacial, Tesis Doctoral, Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España, 2002.
3. Handbook of Ellipsometry, Harland G. Tompkins, Eugene A. Irene, William Andrew publishing, Springer, USA, 2005.