

DETERMINACIÓN DE FORMAS DE PELÍCULAS DELGADAS SEMICONDUCTORAS (SiO₂) POR MÉTODOS INTERFEROMETRICOS EN LUZ POLICROMÁTICA.

Arturo Plata G., Miguel Ángel Suárez S., Johnson Garzón R.*

Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales, Universidad Industrial de Santander,
Bucaramanga, Colombia. e-mail: aplata@uis.edu.co

Resumen

Empleando luz policromática como fuente de iluminación en un dispositivo de microscopia interferencial y un sistema de desplazamiento de alta resolución como elemento de traslación, se pudo determinar el espesor y la topografía de muestras de SiO₂ con una resolución de nanómetros. En esta publicación se muestra la técnica utilizada para decodificar la información de la topografía de la cara superior e inferior y el espesor de la película con una resolución del orden de los nanómetros a partir del interferograma obtenido. Se da a conocer ésta implementación desarrollada para ofrecer el servicio de caracterización de superficies.

Abstract

Using polychromatic light as illumination source into interferometric microscopy device and a high-resolution displacement system as translation element, the thickness and the topography of SiO₂ samples could be determined within nanometer's resolution. In this paper the technique used for decoding the topography information from the interferometric data is illustrated. It was possible to obtain the topography information from both upper and lower thin film surfaces as well as the thin film thickness with average resolution of few nanometers.

* Centro de Ciencia Básica, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. E-mail jgarzonr@lycos.com

1. Introducción

Utilizando los principios de la interferometría, se ha diseñado diversos aparatos capaces de realizar medidas de fase y amplitud. En nuestro laboratorio se ha construido un microscopio interferométrico por reflexión el cual, aprovechando la interferencia con luz blanca, permite realizar medidas de topografía con resolución axial del orden de los nanómetros. Para lograr esta resolución se montó sobre un microscopio interferométrico un sistema de traslación sobre el eje axial, que permite realizar desplazamientos del orden de los nanómetros, por medio de un piezo eléctrico y un control digital de desplazamiento.

La idea básica de este sistema es similar a la del sistema descrito por Kino,^[1,2] el cual a un microscopio por reflexión le adiciona un sistema interferométrico tipo Mirau,^[3,4,5] que resulta ser más efectivo, que el sistema Link, en el cual se utiliza un sistema tipo Michelson.

Con este sistema se pueden realizar medidas de monitoreo de superficies, caracterización de fuentes luminosas y medidas de espesores de películas delgadas semitransparentes.^[4,5]

2. Teoría

a. Interferencia con luz blanca

La interferencia producida por una fuente policromática se puede tomar como la superposición en intensidad de los interferogramas producidos por cada una de las componentes espectrales de la fuente. La intensidad registrada en el plano de observación para la interferencia a dos ondas provenientes de dos puntos, está dada por la siguiente ecuación.^[6,7]

$$I = A^2 + B^2 + 2 A B g(\tau) \cos(2 \pi \nu_0 \tau) \quad (1)$$

Donde τ es el retardo temporal entre los dos haces, y $g(\tau)$ es la transformada de Fourier de la densidad espectral de energía, lo cual es característico de cada fuente. De la ecuación (1) se puede observar que el sistema de franjas se encuentra modulado por $g(\tau)$, mostrando un máximo de intensidad cuando se encuentra en contacto óptico y el retardo temporal τ es igual a cero.

b. Determinación de espesores en películas delgadas

Un efecto que se puede observar en la interferometría con luz blanca, es la variación del interferograma cuando se introduce una muestra que contiene una pequeña película delgada semitransparente. Se puede observar que existen dos sistemas de franjas, uno debido a la interferencia entre los trenes de onda reflejados por la cara superior de la película delgada y el espejo de referencia, y otro debido a la interferencia entre los trenes de onda reflejados

por la cara inferior de la película delgada y el espejo de referencia. En la figura 1 se muestra como son producidos los interferogramas.

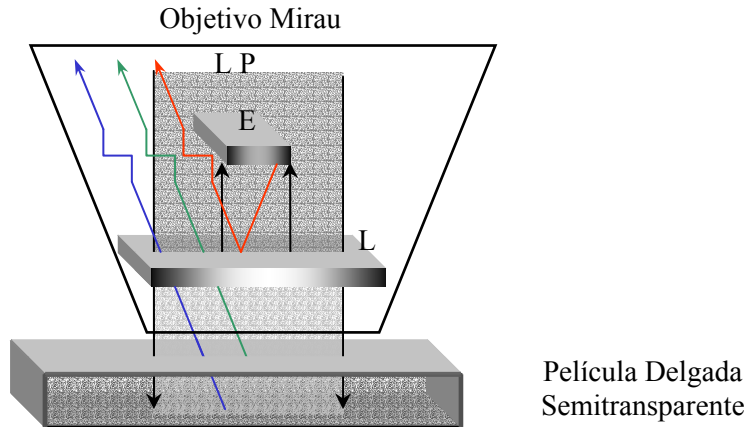


Figura 1. Objetivo Interferométrico tipo Mirau: LP representa la luz policromática que incide sobre el objetivo, E es el espejo de referencia, L la lámina separatriz.

El haz de referencia (color rojo), se superpone con el haz proveniente de la superficie superior de la muestra (color verde), para producir un interferograma. Análogamente el haz proveniente de la superficie inferior (color azul), se superpone con el haz de referencia para producir el segundo interferograma. Al desplazar la muestra en la dirección axial, se registra la intensidad para cada uno de los desplazamientos. La figura 2 muestra la variación de intensidad producida en función de la posición, cuando se coloca como muestra una película delgada de óxido de silicio. En la parte derecha del corte se observan las franjas de interferencia cuando la cara superior de la película delgada entra en contacto óptico con el espejo de referencia. En la parte izquierda del corte se observan las franjas de interferencia cuando la superficie inferior de la muestra entra en contacto óptico con el espejo de referencia, aquí el haz objeto atraviesa el espesor de la película delgada y se refleja de esta. Si e , el espesor de la muestra, es mayor que la longitud de coherencia, se puede observar los dos patrones de franjas por separado como lo es en nuestro caso, de lo contrario tendríamos una interferencia a tres ondas.

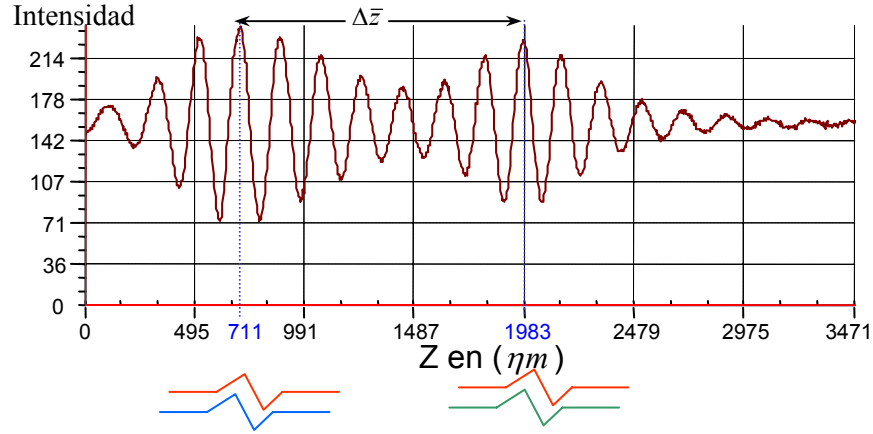


Figura 2. Variación de intensidad en función de la posición, para una película delgada De SiO₂. Para las posiciones 1983 y 711 el haz de referencia se encuentra en fase con Los haces de la superficie superior e inferior de la muestra, respectivamente.

3. Determinación de Formas de Películas Delgadas Semitransparentes

a. Determinación del espesor

Teóricamente el espesor de una película delgada está determinado por la diferencia de las posiciones 3D de cada superficie externa. El sistema implementado permite determinar la posición para cada punto sobre las superficies externas de la muestra y a partir de ellas las correspondientes posiciones de contacto óptico, pudiéndose determinar el espesor entre dos puntos axiales externos. Desplazando la muestra con el sistema transductor piezo-eléctrico TPE se puede hallar la posición del contacto óptico para cada una de las superficies de la película delgada y determinar el desplazamiento necesario para pasar del máximo de un sistema de franjas al otro. Este desplazamiento está relacionado con el espesor de la película por medio de la ecuación:

$$e(x, y) = \frac{\Delta z(x, y)}{n} \quad (2)$$

Donde n es el índice de refracción de la película y $\Delta \bar{z}$ es el desplazamiento entre los dos máximos.

b. Determinación de la forma.

Para realizar el análisis anteriormente mencionado se construye un interferograma sintético solamente registrando los valores de intensidad de una línea en la dirección X del sensor CCD, a medida que el TPE realiza su desplazamiento en la dirección axial Z . La figura 3 (a), muestra las coordenadas del sensor CCD y la figura 3 (b) muestra el interferograma sintético resultante. Una fila del interferograma sintético corresponde a la distribución de intensidad luminosa registrada por la CCD, sobre una fila del objeto y para una posición del

TPE. El número de filas de la imagen corresponde al número de desplazamientos realizados por el TPE.

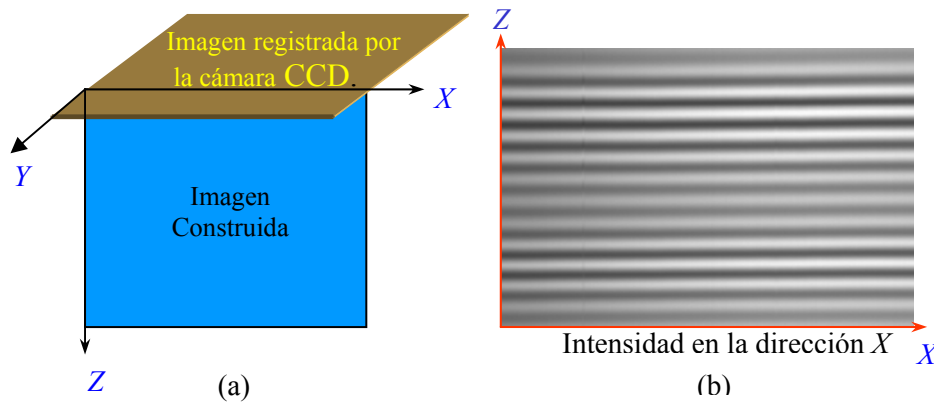


Figura 3. (a) Coordenadas del sensor CCD. (b) Intensidad detectada por el sensor CCD en niveles de gris en la dirección X, para diferentes posiciones del TPE en la dirección axial Z.

En la parte baja de la imagen registrada se encuentra el patrón de interferencia con la cara superior de la película delgada, mientras que en la parte alta de la imagen está la interferencia con la cara inferior. A partir de la imagen obtenida se puede determinar la topografía de la cara superior y el espesor para todos los puntos de la línea. Así se puede reconstruir la topografía de la cara inferior de la película, determinando de ésta manera la forma de la película semitransparente.

4. Resultados experimentales

Con el fin de ilustrar experimentalmente el análisis anterior, se determinó la forma de dos películas semitransparentes de SiO_2 . En la figura 4 se observa la imagen registrada por el sistema y la reconstrucción de la película delgada para dos muestras distintas, donde los registros de intensidad se realizaron con desplazamientos del TPE de 3.3 nm .

Para la primera película se observa que tienen una forma plana. Realizando la transformación del camino óptico en distancia real, considerando el índice de refracción del óxido de silicio ($n = 1.553$), el espesor de la película es de 819 nm . En la segunda muestra observamos como varía el espesor y se encuentra que el máximo valor del espesor es $1.31 \text{ }\mu\text{m}$ y el mínimo espesor es de $0.93 \text{ }\mu\text{m}$. Los anteriores resultados tienen una incertidumbre de 10 nm , debido a la resolución axial del sistema.

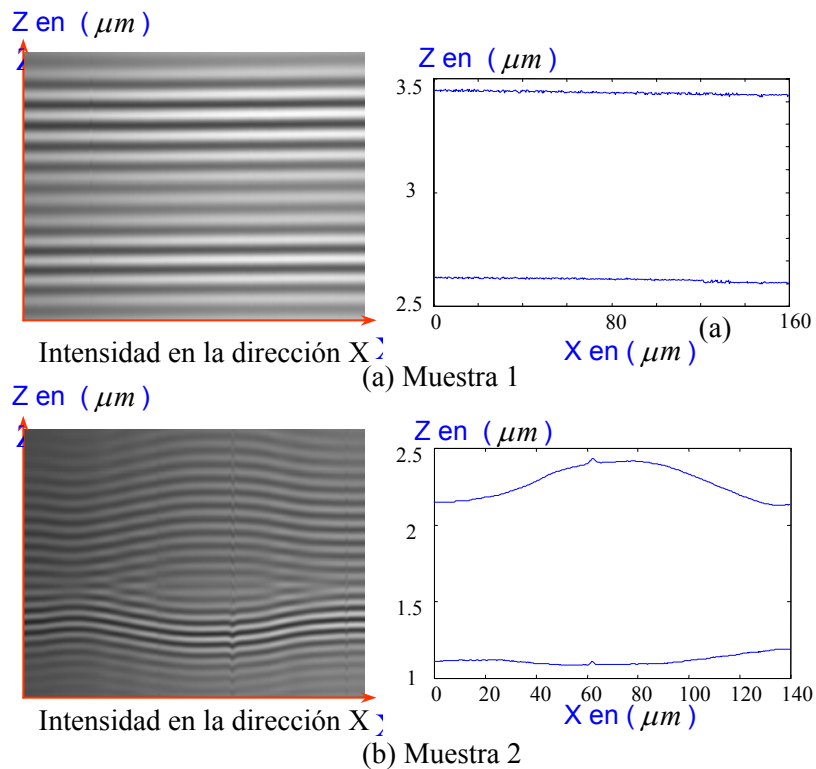


Figura 4. Interferograma sintético para dos muestras semitransparentes de SiO_2 y su respectivo perfil topográfico de sus superficies.

5. Conclusiones

Este trabajo muestra que el fenómeno de interferencia utilizando luz blanca puede aprovecharse como herramienta para desarrollar un análisis detallado en la medición de espesores y así determinar la forma de las películas delgadas semitransparentes. Se ha realizado una aplicación del perfilómetro en la determinación de la forma de la película delgada semitransparente, que permite medir el espesor para cualquier punto de la línea. Este análisis sólo se puede realizar con una fuente con muy poca coherencia temporal que nos permita identificar los máximos para el contacto óptico en cada superficie.

6. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al soporte financiero del D.I.F. de la Universidad Industrial de Santander, COLCIENCIAS (proyecto: Nanometrología de Materiales).

J. Garzón R. Agradece el soporte económico de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín.

7. Bibliografía

- [1]. Gordon S. Kino and Stanley S. C. Chim “Mirau Correlation Microscope” Applied Optics, **29**, p 3775-3783, (1990).
- [2]. Gordon S. Kino and Stanley S. C. Chim “Phase Measurements Using the Mirau Correlation Microscope” Applied Optics, **30**, p 2197-2201, (1991).
- [3]. R.C. Gifkins “Optical Microscopy of Metals” Pitman, (1970).
- [4]. Arturo Plata “Algorithmes De Détection De Phase Dédiés a L’Interférométrie en Lumière Polychromatique: Application Et Apport Des Systèmes Adaptatifs a la Profilométrie” Thèse, L’Université de Franche-Comté, (1997).
- [5]. Miguel Suárez, “Diseño y Aplicación de un Interferómetro Basado en Microscopia Interferencial” Tesis, Universidad Industrial de Santander. Año 2000.
- [6]. Born and Wolf “Principles of Optics” sixth ed. Pergamon Press, (1980).
- [7]. W.H. Steel “Interferometry” Cambridge at the university press, (1967)