



III CADI
IX CAEDI
2016



TOPOGRAFÍA DE SUPERFICIES OBTENIDA POR INTERFEROMETRÍA DE BAJA COHERENCIA DE ALTA RESOLUCION ESPACIAL

P. Tabla, Lab. de Optoelectrónica y Metrología Aplicada. Facultad Regional Delta - UTN, pablotabla@outlook.com

M. Sallese, Lab. de Optoelectrónica y Metrología Aplicada. Facultad Regional Delta - UTN, sallese.marcelo@hotmail.com.

E. N. Morel, Lab. de Optoelectrónica y Metrología Aplicada. Facultad Regional Delta - UTN, nmorel@frd.utn.edu.ar

J. R. Torga, Lab. de Optoelectrónica y Metrología Aplicada. Facultad Regional Delta – UTN, otorga@frd.utn.edu.ar.

Resumen—La tomografía óptica coherente (OCT por sus siglas en inglés) es una técnica óptica no destructiva, que utiliza una fuente de luz de gran ancho espectral que se enfoca sobre un punto de la muestra para determinar la distancia (rigurosamente la diferencia de camino óptico) entre este punto y una superficie de referencia. El punto puede ser superficial o en una interfase interior de la muestra (transparente o semitransparente), permitiendo realizar topografías y/o tomografías en distintos materiales. El interferómetro de Michelson es el esquema experimental tradicional para esta técnica, en el cual un haz de luz se divide en dos ramas, una de referencia y la otra de muestra. La superposición de la luz reflejada en la muestra y en la referencia genera una señal de interferencia que nos da información de la diferencia de camino óptico entre ramas. A partir de esta información es posible obtener la distancia mencionada.

En este trabajo se presenta una nueva configuración experimental en donde la señal de referencia y la señal reflejada en la muestra viajan por una misma rama, mejorando la calidad de la señal de interferencia. Entre los aspectos más importantes de esta mejora podemos mencionar que se reduce considerablemente el ruido y los errores producidos por el movimiento relativo referencia-muestra y por la dispersión del índice de refracción. De esta manera es posible obtener imágenes 3D de superficies con una resolución espacial en el orden del micrón.

Se presentan resultados obtenidos en topografía de superficies metálicas, vidrios y tintas impresas sobre papel.

Palabras clave— *Interferometría, topografía, tomografía.*

1. Introducción

Las técnicas de interferometría óptica de baja coherencia han tenido en los últimos años un gran auge debido a que ofrecen la posibilidad de medir distancias, sin contacto y con alta resolución (inferior al micrón) [1-4]. Para el caso de muestras transparentes o semitransparentes (vidrios, polímeros, tejidos biológicos) estas técnicas ofrecen un atractivo adicional que es la posibilidad de realizar mediciones en el interior del material en lo que se

conoce como tomografía óptica coherente [2]. La OCT se ha desarrollado notablemente en los últimos años en aplicaciones relacionadas con la medicina [3] pero recientemente ha tenido un gran impulso en el área de los ensayos no destructivos y estudios de materiales [4]. Esta técnica es utilizada normalmente en tres modalidades, en el dominio del tiempo (OCT-TD), en el dominio de la frecuencia (OCT-FD) y utilizando fuentes de barrido (OCT-SSD). En aplicaciones donde el objetivo es obtener mediciones *in situ* y en tiempo real, es utilizada predominantemente la modalidad en el dominio de la frecuencia porque permite esquemas experimentales compactos y robustos, que pueden resolverse en sistemas integrados con fibra óptica y sin partes móviles. En una configuración típica se tiene una resolución espacial cercana a los 10 micrones y un rango de medición cercano a los 3 mm.

En el presente trabajo se presenta una nueva configuración experimental en donde ambas señales (referencia y muestra) viajan por una misma rama, mejorando la obtención de topografías y tomografías de la pieza en inspección.

2. Sistema Experimental y Metodología.

En el sistema experimental utilizado en este trabajo, el haz de luz se enfoca sobre cada punto de la muestra, es decir las imágenes se obtienen haciendo un barrido del haz sobre la superficie muestra, midiendo punto a punto sobre la región de interés.

Para la obtención de una topografía se crea una imagen a partir de la medición de las coordenadas espaciales de cada punto medido. Estas coordenadas surgen de la siguiente secuencia. Mediante un sistema de desplazamiento en dos ejes (en el plano x-y) se hace el barrido del haz sobre la muestra, el mismo sistema mide este desplazamiento y permite obtener las coordenadas x e y. La distancia (z) se obtiene analizando la señal de interferencia obtenida con la técnica OCT. Con el conjunto de puntos se obtiene una imagen 3D de la topografía deseada.

El sistema interferométrico utilizado comúnmente es el de una configuración tipo Michelson como se muestra en la Fig. 1. La fuente de luz es un diodo superluminiscente (SLD) con una longitud de onda central de 840 nm. y un ancho de banda de 60 nm. con salida en fibra (Superlum 351 –HP3), que se conecta a un divisor de haz (BS) 50/50, las salidas del divisor se dirigen, una al espejo de referencia y la otra a la muestra, la luz reflejada en la muestra y en la referencia se recombinan generando la señal de interferencia, que se obtiene en la salida del divisor y que es detectada por un espectrómetro con un rango espectral entre 740 y 920 nm.(OceanOptics HR-4000).

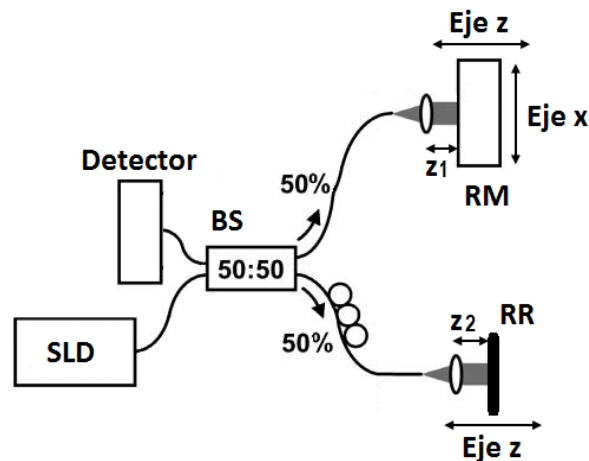


Figura 1. Sistema interferométrico en fibra, SLD es el diodo superluminiscente, BS es el divisor de haz 50/50, RM es la rama de muestra y RR la rama de referencia.

Tanto el espejo de referencia como la muestra se encuentran montados en sendos sistemas de posicionamiento que permiten un ajuste a voluntad de los caminos ópticos de cada rama (z_1 y z_2 en la figura 1). La señal de interferencia obtenida al superponer las intensidades de cada rama tiene la siguiente expresión:

$$I = I_r + I_s + 2\sqrt{I_r I_s} \cos(\delta) \quad (1)$$

Donde I_r e I_s son las intensidades provenientes de la referencia y de la muestra y la fase δ es igual al producto $k \cdot \Delta z$, donde k es el número de onda o frecuencia óptica y z es la diferencia de camino óptico entre la referencia y la muestra ($\Delta z = z_2 - z_1$, de acuerdo a la figura 1).

Supondremos que la fuente de luz de baja coherencia tiene un espectro de intensidades Gaussiano (I_i) cuyo módulo se indica en la ecuación 2:

$$I_i(k) = I_o e^{-\left(\frac{k-k_0}{\Delta k}\right)^2} \quad (2)$$

Donde k_0 y Δk corresponden respectivamente al valor central y el ancho del espectro mencionado. En este caso la ecuación (1) puede reescribirse como:

$$I(k) = \alpha I_o e^{-\left(\frac{k-k_0}{\Delta k}\right)^2} \left[1 + \beta^2 + 2\beta \cos(k\Delta z)\right] \quad (3)$$

Donde por comodidad se definen las relaciones de intensidades:

$$\beta^2 = \frac{I_r}{I_s} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{I_s}{I_i} \quad (5)$$

Al realizar la transformada de Fourier en función de la variable conjugada z_1 , se obtiene la expresión (6) donde en el segundo y tercer término se evidencian dos picos Gaussianos centrado en el valor de z .

$$|FI(z)|^2 = \left(2A\sqrt{\pi^3}(1+\beta^2)\right) \left[e^{-2\left(\frac{\Delta k}{2}\right)^2 z^2} + \left(\frac{\beta}{1+\beta^2}\right)^2 e^{-2\left(\frac{\Delta k}{2}\right)^2 (z-\Delta z)^2} + \left(\frac{\beta}{1+\beta^2}\right)^2 e^{-2\left(\frac{\Delta k}{2}\right)^2 (z+\Delta z)^2} \right] \quad (6)$$

A partir del análisis de la expresión (6) y obteniendo el centro de cada pico Gaussiano es posible obtener la coordenada z de cada punto medido con el interferómetro.

En la figura 2 se muestra el sistema experimental modificado utilizado en este trabajo. El esquema propuesto elimina una rama, colocando la superficie de referencia en la misma rama que la muestra.

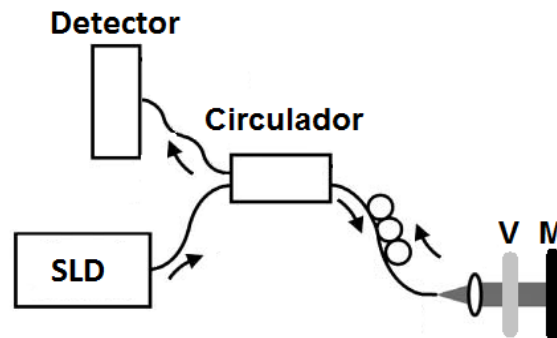


Figura 2. Sistema interferométrico propuesto. La luz emitida por la fuente (SLD) viaja a través de fibra óptica hasta un colimador y una segunda lente que enfoca el haz sobre la placa de vidrio (V) y sobre la muestra (M), las reflexiones generadas por estas superficies son acopladas nuevamente en la fibra y enviadas al detector (espectrómetro) después de pasar por el circulator.

El barrido x - y es generado por un sistema de posicionamiento constituido con 2 motores paso a paso dispuestos en forma perpendicular, cada motor tiene un rango de 2.5 mm y dependiendo de la muestra la resolución utilizada puede ser hasta 2 μm . Cada valor de posición se adquiere junto al espectro dando origen a la terna de coordenadas, como se indicó anteriormente. Estos valores son procesados mediante un software desarrollado específicamente que permite la generación de la imagen 3D correspondiente a la topografía de la muestra.

3. Resultados y Discusión

A continuación se presentan una serie de imágenes en distintos tipos de superficies obtenidas con el sistema descrito anteriormente. En primer lugar se muestra en la figura 3 la reconstrucción de una indentación realizada en una muestra plana de vidrio para un ensayo de micro dureza donde se utilizó como penetrador una punta de diamante piramidal de 4 lados. La superficie barrida es de aproximadamente 200 μm . x 200 μm . y el barrido se realizó en pasos de 2 μm .

**TOPOGRAFÍA DE SUPERFICIES OBTENIDA POR INTERFEROMETRÍA DE BAJA
COHERENCIA DE ALTA RESOLUCION ESPACIAL**

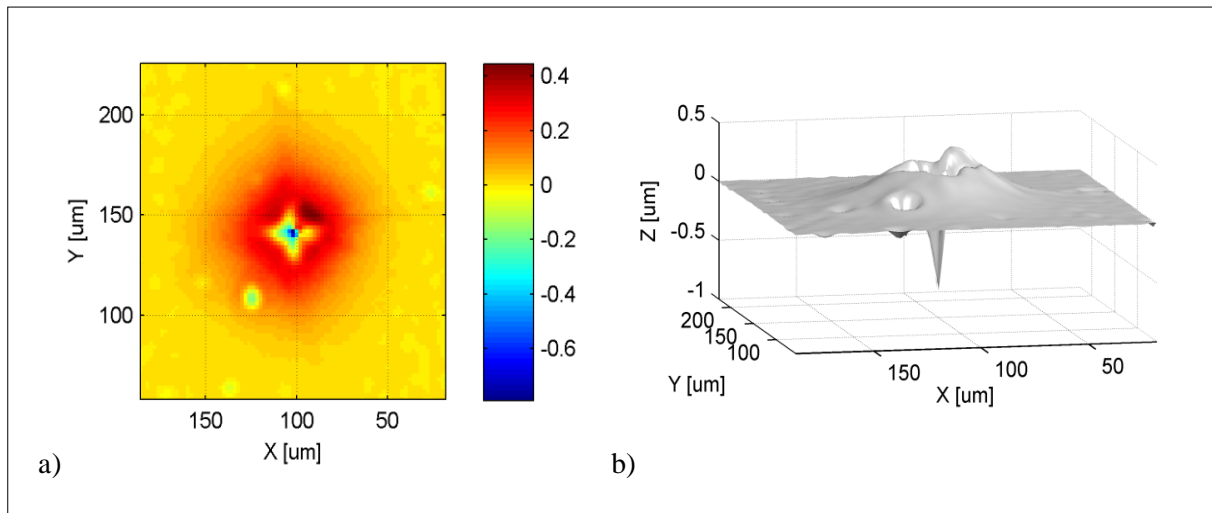


Figura 3. Muestra de vidrio con indentación. La figura 3-a es una vista superior de la imagen obtenida y la figura 3-b muestra la topografía de la superficie.

En la figura 4 se muestra una topografía obtenida de una superficie metálica con forma escalonada. Se puede ver claramente que el sistema permite obtener imágenes que reconstruyen la topografía en regiones donde la muestra presenta flancos abruptos. En este caso el área medida es de 2mm x 5mm obtenida en paso de 20 μm .

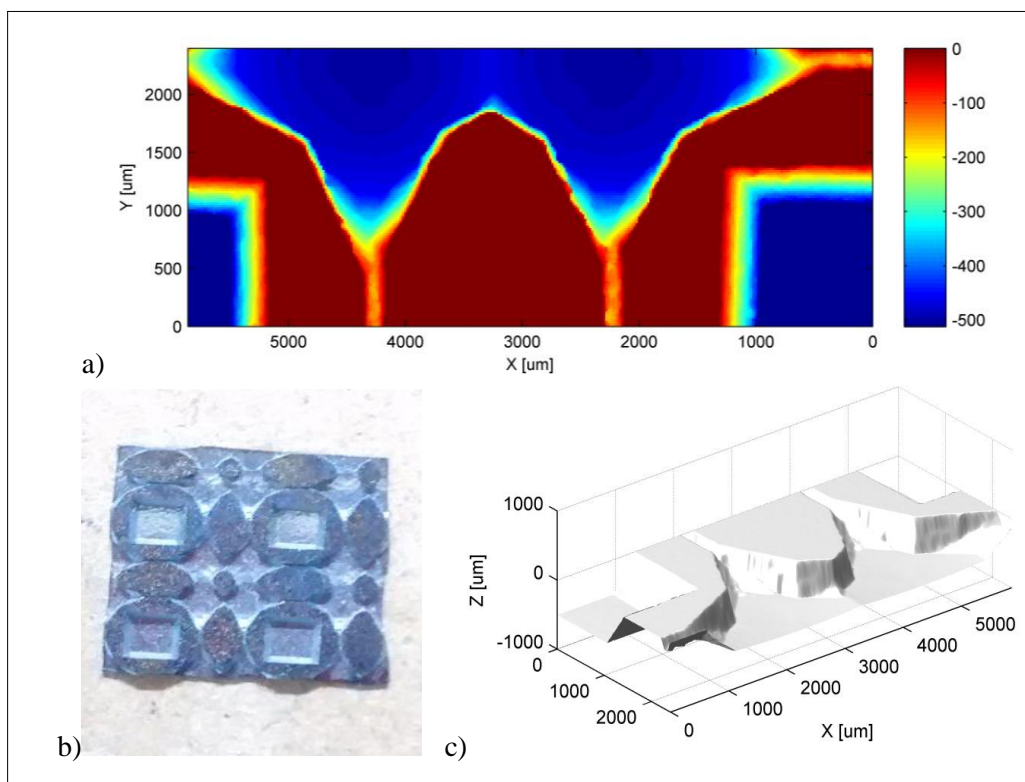


Figura 4. Topografía de una superficie metálica. a) vista superior (parcial) de la imagen obtenida b) fotografía de la muestra. c) topografía parcial de la superficie donde se aprecian los flancos mencionados.

En la figura 5 se muestra un último ejemplo, en este caso la perfilometría de una impresión de tinta sobre papel. En el perfil se puede apreciar cómo es posible distinguir regiones con

depósito de tinta y depapel, A través de la interpolación de puntos obtenidos del sustrato papel y tinta se puede estimar el espesor de la impresión.

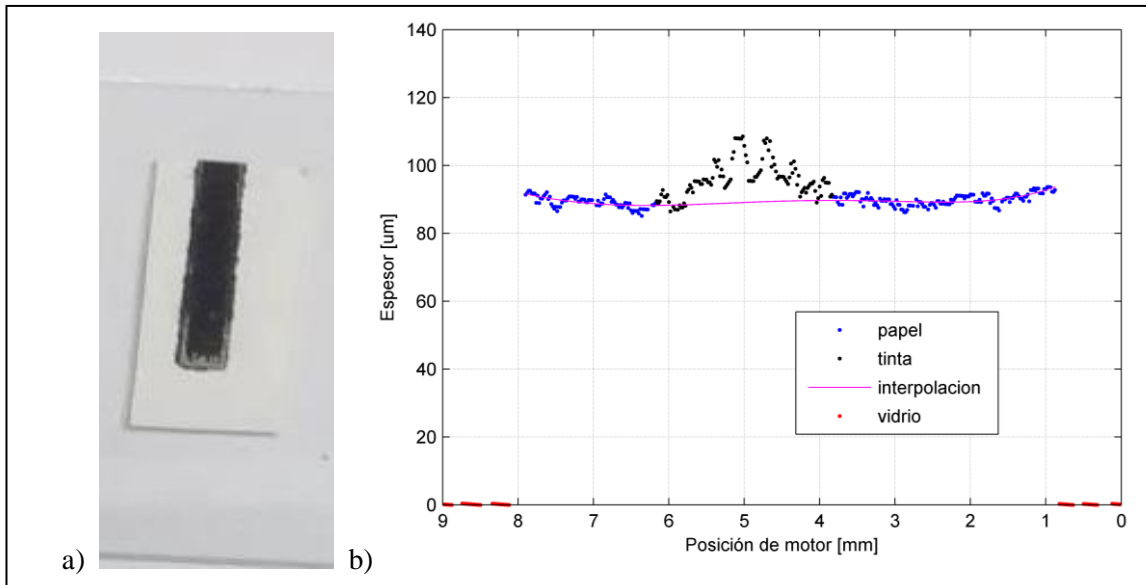


Figura 5. Perfilometría de tinta base carbono sobre papel. a) foto de la muestra. b) perfilometría de un barrido transversal.

4. Conclusiones

Se ha presentado un esquema de interferometría de baja coherencia de una sola rama para la determinación de topografía de superficies en distintos materiales. De los resultados obtenidos concluimos que esta configuración tiene varias ventajas sobre el esquema tradicional (dos ramas). En primer lugar permite disminuir ruidos y errores debidos al sistema de translación y a inestabilidades en las fibras del interferómetro. Se ha mostrado que el sistema puede ser aplicado en una variedad de materiales y permite medir en regiones normalmente complicadas para esta técnica como son los flancos abruptos, los cambios bruscos de índice de refracción y reflectividad. El sistema puede ser adaptado a una forma compacta, estable y económica por lo que creemos es una buena opción como sistema de medición de superficies, rugosidades, control de calidad y evaluación de materiales en diversos ámbitos industriales. En base a los buenos resultados obtenidos el trabajo a futuro estará orientado al desarrollo de un sistema industrial y la ingeniería requerida para transformarlo en un equipo transferible.

5. Referencias