

# **INNOVANDO EN METROLOGÍA ÓPTICA DE SUPERFICIES. LAS CONTRIBUCIONES DEL CD6**

F. Laguarda, R. Artigas, A. Pintó, C. Cadevall y C. Oriach  
Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)  
Rambla Sant Nebridi 10, E-08222 Terrassa

## **1. Introducción**

En estos últimos años se observa un avance permanente en prácticamente todos los campos relacionados con las aplicaciones de materiales y las tecnologías de la producción. Esta situación provoca un incremento sistemático de las demandas del mercado sobre los métodos de inspección de superficies y sobre las prestaciones de la instrumentación disponible para la medida de formas y texturas superficiales. Uno de los retos consiste en obtener la evaluación de la micro- o nanogeometría de una superficie de manera no destructiva, más fiable y también más rápida.

En el CD6 llevamos más de diez años investigando en el campo de la perfilometría sin contacto de superficies. Nuestro objetivo consiste en explorar el potencial de las distintas técnicas ópticas conocidas para desarrollar nuevas estrategias de medida en el campo de la instrumentación metrológica. También intentamos identificar cuáles de estas estrategias pueden ser desarrolladas para ser introducidas en el mercado como soluciones para aplicaciones no resueltas o como instrumentos de propósito general. Podemos citar, a título de ejemplo, las nuevas necesidades derivadas de las nanotecnologías o los permanentes avances en los ámbitos de la micromecanización, la microóptica y la microelectrónica, donde proliferan cada vez más los dispositivos construidos a partir de la superposición de capas delgadas de materiales disimilares. Actualmente, no existe todavía ninguna solución metrológica en el mercado que pueda considerarse satisfactoria para la medida de la topografía 3D de este tipo de arquitecturas. A continuación se presentan las principales líneas de trabajo y los resultados más innovadores obtenidos a lo largo de estos últimos tres años en el CD6 en el campo de la metrología óptica de superficies.

## **2. Perfilómetro de Tecnología Dual (Confocal e Interferométrico)**

La interferometría (PSI y VSI) y la microscopia confocal son las dos técnicas más utilizadas para medir la topografía de una superficie en una escala que puede ir desde los milímetros hasta los nanómetros. De hecho, los interferómetros y los perfilómetros confocales llevan años compitiendo en el mercado, pero el análisis de sus respectivas prestaciones demuestra que dichas técnicas pueden considerarse más complementarias que competitivas. Nuestro reto ha consistido en desarrollar un nuevo esquema de iluminación que permita la utilización de las dos técnicas perfilométricas en un mismo instrumento. La solución no es trivial ya que las imágenes interferométricas se obtienen con iluminación de campo ancho, mientras que las confocales deben sintetizarse a partir de una secuencia de imágenes obtenidas iluminando y observando la superficie localmente.

El diseño conceptual de este nuevo sensor dual puede observarse en la Figura 1a. La clave ha consistido en la utilización de microdisplays LCOS situados en la posición del diafragma de campo del sistema de iluminación. Con estos dispositivos podemos controlar el patrón de luz que proyectamos sobre la superficie de la muestra a medir, de manera que podemos utilizar tanto una iluminación de campo ancho (proyectando una imagen blanca con todos los píxeles del microdisplay activados) como una secuencia de patrones binarios [1-3].

Mediante este esquema, simplemente utilizando el objetivo adecuado, podemos elegir entre imagen de microscopía standard, imagen confocal, imagen interferométrica, perfilometría confocal y perfilometría interferométrica (PSI o VSI). Además, el diseño compacto y sin partes móviles del sensor rompe la apariencia tradicional de los perfilómetros ópticos y permite construir todo tipo de configuraciones; desde el equipo clásico en columna para control de calidad hasta montajes más sofisticados para control de producción como el que puede verse en la Figura 1.b.

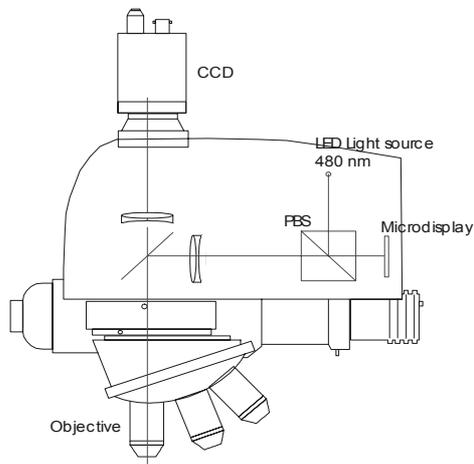


Fig 1a. Esquema de iluminación del sistema dual

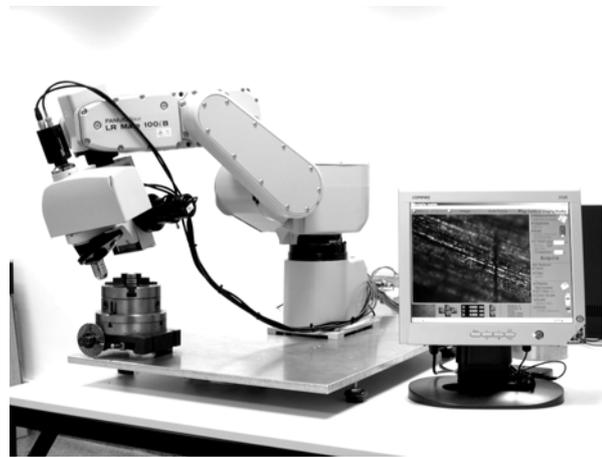


Fig 1b. Prototipo del perfilómetro dual en una aplicación de control de producción

Una variante del diseño anterior en forma de perfilómetro confocal desdoblado nos ha permitido desarrollar un método para la medida de la topografía interior de orificios micrométricos como los de los inyectores de combustible, los inyectores de los cabezales de impresión con tinta o las hileras de diamante para el trefilado de hilos metálicos [4-5].

### 3. Nuevo método para la medida de superficies estructuradas que contienen materiales disimilares

Una de las aplicaciones para las que no existe una solución satisfactoria es la medida de la forma y la textura de superficies estructuradas obtenidas a partir de la superposición de varias capas submicrométricas de distintos materiales. Ejemplos habituales son las arquitecturas para dispositivos microelectrónicos construidos a partir de Si, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, fotoresinas y deposiciones metálicas. Debido a los distintos índices de refracción la luz se refleja en las diferentes interfases de estas estructuras de manera que los frentes de onda reflejados se superponen dando lugar a patrones de interferencia a partir de los cuales no es trivial extraer la información de la topografía superficial y de los espesores de las distintas capas.

Nuestra contribución ha consistido en el desarrollo de un método indirecto basado en la comparación de las respuestas axiales confocales obtenidas en las zonas de la superficie donde existe una capa depositada y en las zonas donde sólo existe sustrato. La aplicación de este método a diferentes tipos de muestras conocidas ha permitido validar el modelo y acotar el error en la medida de los espesores de las capas delgadas a unos pocos nanómetros [6].

#### 4. Estabilización activa en medidas interferométricas

En la actualidad muchas técnicas cuyo uso se restringía al laboratorio se están utilizando en ambientes industriales menos controlados. La interferometría óptica es una de estas técnicas y requiere un entorno libre de vibraciones que en muchos casos no es posible obtener con la ayuda de sistemas pasivos. En estos casos la única alternativa viable es la utilización de sistemas activos de lazo cerrado alimentados por una señal de error extraída de un sensor de seguimiento de la vibración (fringe trackers).

Nuestra contribución en este campo ha consistido en el desarrollo de nuevos sensores de vibración basados en cámaras CCD lineales de alta velocidad y de los correspondientes algoritmos de extracción de la señal de error [7-9]. Uno de estos desarrollos se ha utilizado para estabilizar las medidas de un interferómetro de gran apertura diseñado para medir los errores de pistón a escala nanométrica en espejos segmentados.

#### Bibliografía

- [1] R. Artigas, F. Laguarda, and C. Cadevall, "Dual-technology optical sensor head for 3D surface shape measurements on the micro and nano-scales", SPIE Vol. **5457** (166-174), 2004.
- [2] R. Artigas, F. Laguarda, C. Cadevall, M.L. Novella, F. Rominsky, and A. Wójt, "3D shape and texture measurements on the micro and nano-scales using a new dual-technology optical sensor head", VDI-Berichte 1844 (121-130), 2004.
- [3] R. Artigas, F. Laguarda, and C. Cadevall, "Dual (confocal and interferometric) technology optical profilometer", PCT/ES Patent 2005/000204, 2005.
- [4] F. Laguarda, R. Artigas, and C. Cadevall, "3D-shape measurement of nozzles on the micrometric scale", SPIE Vol. 5457 (74-82), 2004.
- [5] F. Laguarda, R. Artigas, and C. Cadevall, "Optical Metrology method for determining the three-dimensional topography of an orifice", PCT Patent 3075-41171, 2005.
- [6] C. Cadevall, R. Artigas, and F. Laguarda, "Development of confocal-based techniques for shape measurements on structured surfaces containing dissimilar materials", SPIE Vol. 5144 (206-217), 2003.
- [7] A. Pintó, F. Laguarda, R. Artigas, and C. Cadevall, "Testing and applicability of the UPC-ZEBRA interferometer as a phasing system in segmented mirror telescopes", *Applied Optics*, 43, (1091-1096), 2004.
- [8] R. Comasòlivas, T. Escobet, J. Quevedo, A. Pintó, F. Laguarda, and J. Vicente, "Active Control based on QFT for Vibration Attenuation in Optical Interferometers", en prensa, 2006.
- [9] A. Pintó and F. Laguarda, "Development of a line-scan CCD-based fringe tracker for optical interferometry", *Applied Optics*, en prensa, 2006.