

## CONTROL DE NANORUGOSIDAD EN SUPERFICIES DE Si Y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> POR MICROSCOPIA DE FUERZA ATOMICA.

A. Garcia-Borquez(1), S. Braun(2), A. Leson(2)

ESFM-IPN, Edif. 9-UPALM, 07738 México, D.F.; (2) Fraunhofer IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden, Alemania. [borquez@esfm.ipn.mx](mailto:borquez@esfm.ipn.mx); [stefan.braun@iws.fraunhofer.de](mailto:stefan.braun@iws.fraunhofer.de)

**INTRODUCCION.** La rugosidad a nivel nanométrico puede cambiar drásticamente las propiedades superficiales de un material, como pueden ser su reflectividad, reactividad, conductividad, capacidad de absorción, hidrofobicidad, respuesta fotoluminiscente, etc. La modificación de la superficie para tales efectos ha cobrado ultimamente un gran auge en el entorno de la nanotecnología, sin embargo la medida de la nanorugosidad es aun un tema con muchas facetas en desarrollo y su cuantificación puede involucrar conceptos tan complejos como la teoría de fractales. En este aspecto la Microscopía de Fuerza Atómica (MFA) se perfila como una técnica relativamente confiable para la determinación de cierto tipo de rugosidades en el rango de nano a microrugosidades.

En este trabajo se presentan comparativamente dos casos extremos:

1. Mínima rugosidad. Donde la ausencia de relieves es deseable para lograr una mayor reflectividad. Esto es de suma importancia en el acabado de espejos, sobre todo cuando son aplicados a equipos de alta precisión como espejos Goebel en difractómetros de rayos X o en reflectores de microscopios de ultravioleta extrema [1, 2].
2. Máxima rugosidad. Donde la presencia de nanorelieves en la superficie es importante para la deposición de nanopartículas en catálisis por ejemplo, o en la deposición de películas delgadas semiconductoras. En la primera, los relieves abruptos evitan la sinterización de las nanopartículas (fase activa en los sistemas catalíticos) y en la segunda, causan nanotensiones que repercuten en la modificación de la banda prohibida.

**OBJETIVO.** Comparar la nanorugosidad medida de una superficie espejo de Si y otra policristalina irradiada de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, resaltando la capacidad instrumental del MFA.

**METODOLOGIA.** Las fotomicrografías de MFA se tomaron empleando un microscopio Veeco Dimension 3100 V cuyo software permite la evaluación de la nanorugosidad,  $R_q$ , y la razón porcentual del área superficial tridimensional a la bidimensional proyectada, %S/A. El acabado en las muestras de Si se logra por el método de deposición de laser pulsado (PLD: Pulsed Laser Deposition) o por deposición magnética de la erosión atómica (MSD: Magnetron Sputter Deposition) [3]. La rugosidad en las muestras de alúmina tiene su origen en la forma policristalina característica de la fase alfa; sin embargo estas muestras fueron sometida a irradiación con iones de Al de 3.66 MeV a 250 y 280 dpa para observar el efecto en la nanorugosidad [4-6].

**RESULTADOS.** En la fig. 1 se observa una imagen de MFA de la superficie espejo de Si. Las medidas de nanorugosidad respectivas se muestran en la misma figura y se comparan en la tabla I. La superficie de alúmina observada por MEB se muestra en la fig. 2, nótese la definición más marcada de granos en la fotomicrografía de la derecha, debido a la erosión atómica de la irradiación. En la fig. 3, obtenida por MFA, se corrobora lo anterior en una imagen tridimensional de una frontera de grano en la zona no irradiada (izquierda) comparada con una en la zona irradiada (derecha).

**CONCLUSIONES.** La nanorugosidad en el Si espejo es aproximadamente 3 órdenes de magnitud menor que en la alúmina y el área superficial de ésta (%S/A) aumenta en un factor 2 al ser irradiada. Como vemos, el control de rugosidad mediante MFA es de gran utilidad tanto en superficies espejo como para superficies medianamente rugosas, es decir, en el orden de nano a microrugosidad. No existe otra técnica que pueda ofrecer una imagen tridimensional, aspecto visual cualitativo de la rugosidad, y a su vez una medida cuantitativa de tal característica, en la escala nanométrica.

### REFERENCIAS.

- [1] X-Ray Optical Systems, Hermann Mai, Stefan Braun. Metal Based Thin Films for Electronics. Eds. K. Wetzig, C.M. Schneider, Wiley-VCH, ISBN 978-3-527-40650-0. Secc. 5.4 (2007) 373-383.
- [2] Mo/Si multilayers with different barrier layers for applications as EUV mirrors, St. Braun, H. Mai, M. Moss, R. Scholz and A. Leson. Japanese Journal of Applied Physics, 41, (2002), 4074-4081.
- [3] Thin Film Preparation Methods, Christian Wenzel. Metal Based Thin Films for Electronics. Eds. K. Wetzig, C.M. Schneider, Wiley-VCH, ISBN 978-3-527-40650-0. Secc. 3.1 (2007) 141-160.

[4] Surface nanofeatures induced by high energy heavy ions irradiation. A. García-Bórquez, C. Camacho-Olguín, L. Herrera-Colín, G. Rueda-Morales, W. Kesternich. Acta Physica Polonica A, 109 3 (marzo, 2006) 347-351.

[5] Alteración morfológica superficial inducida en alfa-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> por irradiación de iones de Al. L. Herrera-Colín, A. García-Bórquez, G. Rueda-Morales. Rev. Mex. Fis. Sup. 53, 5 (2007)40-43.

[6] Superficies Nanoestructuradas, Arturo García-Bórquez. Cristalografía: Fundamentos, Técnicas y Aplicaciones. Ed. L.Bucio, Sociedad Mexicana de Cristalografía A.C., ISBN 970-9888-07-2, (Nov. 2005) 523-528.

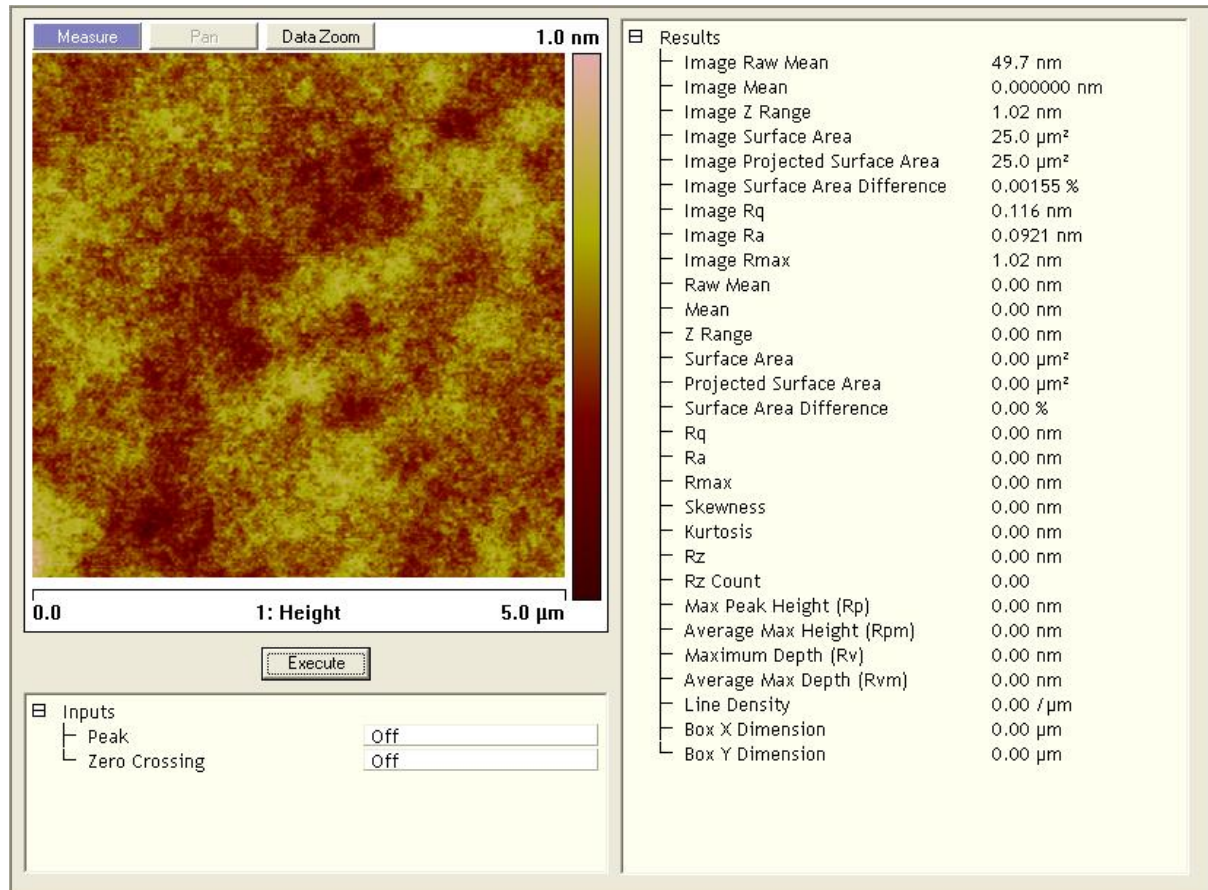


Fig. 1. Fotomicrografía de MFA de la superficie espejo de Si obtenida por MSD y su evaluación de nanorugosidad,  $R_q = 0.116$  nm.

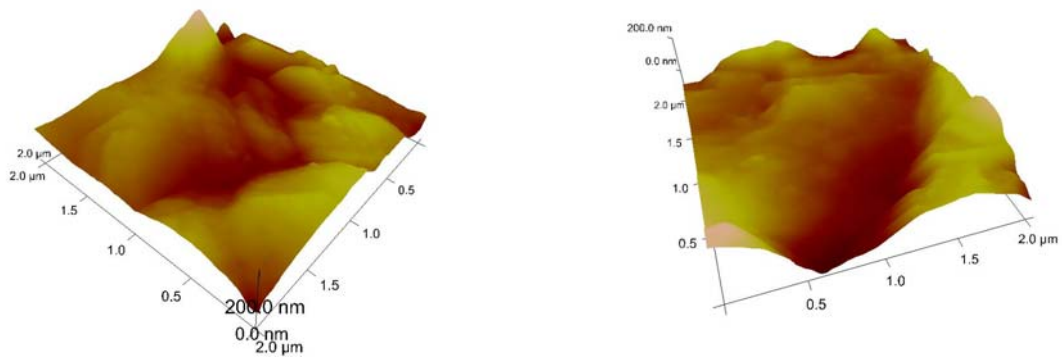
a)



b)



Fig. 2. Fotomicrografías por MEB con definición de granos. a) Zona no irradiada b) Zona irradiada (250 dpa).



**Fig. 3.** Fotomicrografía de la superficie de la alúmina no irradiada (izquierda) e irradiada (derecha).

**Tabla I.** Comparación de rugosidad en superficie espejo de Si y alúmina nanorugosa.

Sample	Rq (nm)	% S/A	Area ( $\mu\text{m}$ )	Rango en Z (nm)
Si	0.116	0.00155	25 $\mu\text{m}$	1.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> antes	91.8	1.65	50 $\mu\text{m}$	629.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> después	112.0	2.81	50 $\mu\text{m}$	928.00

**AGRADECIMIENTOS.**

(1) Apoyo COTEPABE y las facilidades del Fraunhofer IWS Dresden; así como (1,2) el financiamiento del proyecto NanoForumEULA del 01 de junio al 31 de agosto del 2008.