

Formación de patrones nanométricos en superficies por bombardeo de iones

Luis Vázquez^{1*}

¹ Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (CSIC), Cantoblanco, 28049 Madrid

En los últimos años ha aumentado el interés en la producción controlada de estructuras con tamaños desde el nanómetro hasta unas decenas de nanómetros, por su posible aplicación en campos como la Electrónica, el Magnetismo o la Biología.¹ Un método de producción de nanoestructuras que está atrayendo gran interés es la formación de patrones autoorganizados en la superficie de distintos materiales mediante el bombardeo de superficies por iones de baja energía (entre 0.1 keV y 2 keV) [puede encontrarse una revisión reciente en la Ref. 2]. Las dimensiones características de estas estructuras están relacionadas con el tamaño promedio de las cascadas de colisiones atómicas causadas por el impacto de un ion sobre el sólido, las cuales están en el rango de las decenas de nanómetros. Esta charla se centrará en dos ejemplos experimentales de la producción de patrones nanométricos sobre superficies de silicio mediante bombardeo iónico, y su caracterización morfológica mediante microscopia de fuerzas atómicas (AFM).

de corto alcance (cuadro superior en la Figura 1). La altura promedio de las nanoestructuras es de unos 6 nm, y la anchura está en el rango de 40-60 nm, según se ha comprobado mediante AFM y microscopia electrónica de transmisión. Se han realizado estudios sobre la evolución morfológica de estos patrones con: (a) la dosis iónica [es decir el tiempo de irradiación] y (b) la temperatura del sustrato durante el bombardeo.

El *segundo* ejemplo es la producción de patrones celulares sobre silicio en un equipo convencional de pulverización catódica por radiofrecuencia. Mediante AFM se ha detectado una estructura celular en el centro de la oblea (Figura 1, cuadro inferior izquierdo), mientras que cerca del perímetro se detecta la formación de estrías nanométricas (Figura 1, cuadro inferior derecho) similares a las ondulaciones que se forman en la arena de las dunas.² La producción de estructuras tan diferentes se cree relacionada con la distinta geometría de incidencia de los iones sobre la oblea de silicio. Se caracterizará la evolución de las estructuras celulares con los distintos tiempos de pulverización.

La formación y evolución temporal de los patrones observados se debe a inestabilidades dinámicas inherentes al proceso de erosión por bombardeo, así como a las fluctuaciones en los diversos mecanismos de relajación y forzamiento de las superficies. Se mostrará cómo dar cuenta de estas características empleando herramientas de la Física Estadística, en concreto del dominio de los sistemas fuera del equilibrio. Así,⁵ se compararán los comportamientos observados con los de ecuaciones diferenciales estocásticas propuestas en la literatura,⁶ y con análisis estadísticos de estructuras celulares como las espumas.⁷

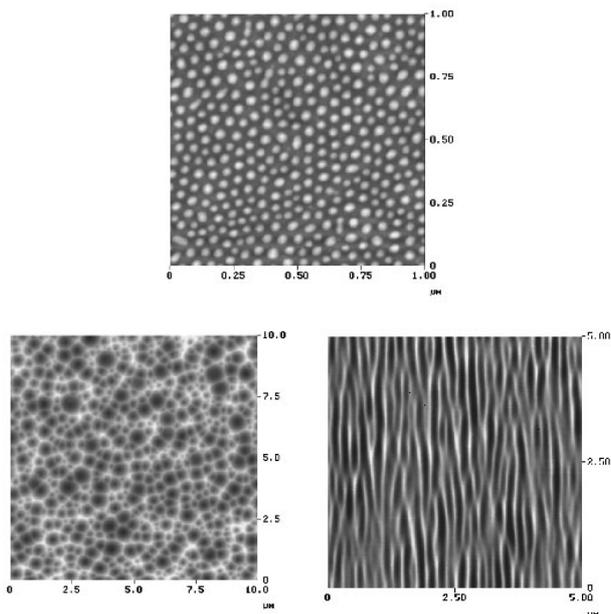


Figura 1. Imágenes de AFM de distintos patrones producidos por bombardeo iónico sobre la superficie de una oblea de silicio. Cuadro superior: nanoestructuras lenticulares ($1 \times 1 \mu\text{m}^2$); cuadro inferior izquierdo: patrones celulares ($10 \times 10 \mu\text{m}^2$); cuadro inferior derecho: nanoestrias ($5 \times 5 \mu\text{m}^2$).

El *primer* ejemplo consiste en la formación de nanoestructuras lenticulares de silicio,^{3,4} dispuestas sobre la superficie de la oblea bombardeada con orden hexagonal

* lvb@icmm.csic.es

¹ G. L. Timp (ed.), *Nanotechnology* (Springer, 1999); C. M. Niemeyer, *Angew. Chem. Int. Ed.* **40**, 4128 (2001).

² U. Valbusa, C. Boragno y F. Buatier de Mongeot, *J. Phys. C* **14**, 8153 (2002).

³ S. Facsko, T. Dekorsy, C. Koerdt, C. Trappe, H. Kurz, A. Vogt, y H. L. Hartnagel, *Science* **285**, 1551 (1999).

⁴ R. Gago, L. Vázquez, R. Cuerno, M. Varela, C. Ballesteros, y J. M. Albella, *Appl. Phys. Lett.* **78**, 3316 (2001).

⁵ M. Castro, R. Cuerno, M. García-Hernández y L. Vázquez, en preparación.

⁶ B. Kahng, H. Jeong y A.-L. Barabási, *Appl. Phys. Lett.* **78**, 805 (2001); M. Makeev, R. Cuerno y A.-L. Barabási, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **197**, 185 (2002).

⁷ D. Weaire y S. Hutzler, *The physics of foams*, (Oxford University Press, 1999).