

# Acoplamiento del transporte de material y la morfología en superficies sometidas a erosión iónica

Javier Muñoz-García\*, Rodolfo Cuerno† y Mario Castro‡

\*Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos (GISC) y School of Mathematical Sciences, University College of Dublin, Belfield, Dublin 4, Irlanda

†Departamento de Matemáticas y GISC, Universidad Carlos III de Madrid, Avda. de la Universidad 30, 28911 Leganés

‡GISC y Grupo de Dinámica No Lineal (DNL), Escuela Téc. Sup. de Ingeniería (ICAI), Universidad Pontificia Comillas, 28015 Madrid

El interés en la irradiación iónica y en su capacidad para modelar a escala nanométrica regiones extensas (del orden de varios centímetros) se ha visto incrementado en los últimos años debido a la gran variedad de potenciales aplicaciones que presenta, que van desde la fabricación de dispositivos semiconductores u ópticos hasta diversas aplicaciones biotecnológicas.<sup>1</sup> Dicha técnica consiste en eliminar material de la superficie mediante el bombardeo con iones de energías cinéticas del orden del kiloelectronvoltio, de forma que pueden aparecer patrones ordenados en gran variedad de materiales. Además de su interés tecnológico, los mecanismos básicos que provocan la evolución de estas morfologías han sido objeto de numerosos estudios teóricos durante las últimas décadas.

A pesar de que ciertas características experimentales han sido descritas correctamente por estas teorías, otras han requerido la inclusión de nuevos mecanismos físicos y la extensión de los modelos anteriores para ser correctamente explicadas.<sup>2,3</sup> Así, a diferencia de las teorías morfológicas previas en las que el único campo físico considerado era la altura del sustrato bombardeado,  $h$ , en este trabajo acoplaremos la dinámica de  $h$  con el grosor de material móvil en la superficie,  $R$ . El sistema de ecuaciones resultante incorpora determinados mecanismos como el redépósito de material o la dependencia de la velocidad de erosión con la geometría local, la energía, flujo y ángulo de incidencia de los iones, temperatura, etc. Se mostrará que esta descripción, además de extender las teorías anteriores, permite predecir algunas características novedosas como el ensanchamiento y saturación del tamaño lateral del patrón o el desplazamiento no uniforme de las estrías, observadas en los experimentos. Además del análisis numérico de este sistema, se mostrará un análisis multiescala que nos permitirá eliminar adiabáticamente el campo  $R$  y obtener una ecuación de evolución temporal, cerrada para el perfil de alturas, cerca del correspondiente umbral de inestabilidad. De esta forma, en el caso particular de incidencia normal, dicha ecuación se reduce a una generalización de la conocida ecuación de Kuramoto-Sivashinsky de la forma

$$\partial_t h = -\nu \nabla^2 h - \mathcal{K} \nabla^4 h + \lambda^{(1)} (\nabla h)^2 + \lambda^{(2)} \nabla^2 (\nabla h)^2, \quad (1)$$

donde los diversos coeficientes dependen de los parámetros fenomenológicos. Esta ecuación permite predecir determinados comportamientos experimentales<sup>4</sup> como el desorden en alturas a distancias intermedia estudiado en [5] para su versión 1-D.

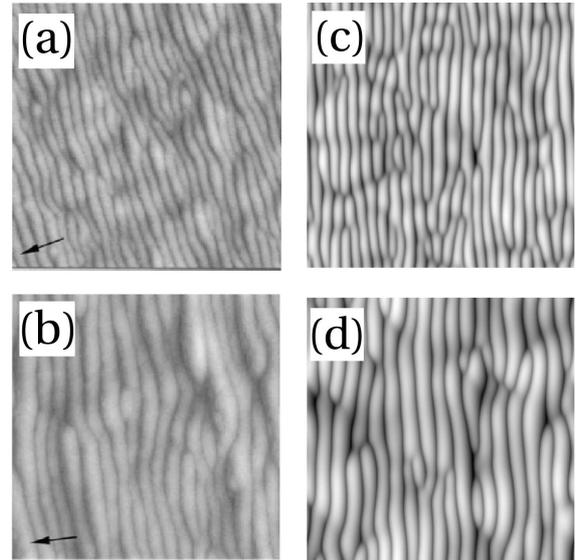


Figura 1. (a), (b) Imágenes obtenidas mediante AFM de la superficie de sílice ( $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ ) tras ser irradiada oblicuamente durante 10 y 60 minutos respectivamente.<sup>6</sup> (c), (d) Evolución de la morfología obtenidas mediante integración numérica de la ecuación efectiva para la altura en un instante  $t$  y  $6t$  respectivamente.

\* javiermunozgarcia@gmail.com

<http://gisc.uc3m.es/~javier>

<sup>1</sup> J. Muñoz-García, L. Vázquez, R. Cuerno, J.A. Sánchez-García, M. Castro y R. Gago, *Self-organized surface nanopatterning by ion beam sputtering*, en *Lecture Notes on Nanoscale Science and Technology*. Editado por Zhiming M. Wang. Springer, Heidelberg (2007) (En prensa). También disponible en arXiv:0706.2625.

<sup>2</sup> M. Castro, R. Cuerno, L. Vázquez y R. Gago, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 016102 (2005).

<sup>3</sup> J. Muñoz-García, M. Castro y R. Cuerno, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 086101 (2006).

<sup>4</sup> R. Gago, L. Vázquez, O. Platevin, T.H. Metzger, J. Muñoz-García, R. Cuerno y M. Castro, *Applied Physics Letters* **89**, 233101 (2006).

<sup>5</sup> J. Muñoz-García, M. Castro y R. Cuerno, *Phys. Rev. E* **74**, R050103 (2006).

<sup>6</sup> D. Flamm, F. Frost y D. Hirsch, *Appl. Surf. Sci.* **179**, 95 (2001).