

DEPOSICIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS POR PVD Y SU CARACTERIZACIÓN MEDIANTE AFM

D.A. Egidi¹, C.B. Mendive¹, P.A. Corengia¹, M.O. Quinteiro¹, G.O. Ybarra², C.A. Moina²

¹Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica (CEMEC), Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Parque Tecnológico Miguelete, Av. Gral Paz e/Albarellos y Av. de los Constituyentes, C.C. 157, C.P. 1650, San Martín, Pcia. de Buenos Aires, República Argentina, e-mail: *surfaces@inti.gov.ar*.

²Centro de Investigación y Desarrollo en Electrodeposición y Procesos Superficiales (CIEPS), Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Parque Tecnológico Miguelete, Av. Gral Paz e/Albarellos y Av. de los Constituyentes, C.C. 157, C.P. 1650, San Martín, Pcia. de Buenos Aires, República Argentina, e-mail: *cieps@inti.gov.ar*.

Resumen. En este trabajo, se estudiaron películas delgadas de Al y Au depositadas sobre sustratos de Si mediante PVD en diferentes condiciones de proceso. Los espesores y la morfología de los depósitos fueron determinados mediante AFM, que ha demostrado ser una herramienta útil y fácil de implementar para este tipo de estudios.

Abstract. Thin films of Au and Al were grown on Si substrates by PVD under different process conditions. The resultant thickness and morphology of the films were analyzed by means of an AFM, which has proved to be a helpful and easy-to-use tool for this type of investigations.

1. Introducción

El creciente interés en nanotecnologías^[1] y tratamientos superficiales^[2,3] ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos de caracterización.

Una de las técnicas más versátiles para disponer de piezas con propiedades superficiales mejoradas, manteniendo inalteradas las del resto del material, se conoce como PVD (Physical Vapour Deposition)^[4]. Esta técnica permite obtener depósitos submicrométricos de distintos metales o aleaciones sobre cualquier tipo de sustratos. Las películas de Al y Au se utilizan ampliamente con una variedad de aplicaciones debido a sus propiedades físicas.

Las películas delgadas de Al son muy utilizadas para la fabricación de superficies reflectantes y en interconexiones de circuitos integrados^[5]. Los componentes electrónicos requieren superficies y contactos cada vez más pequeños y lisos, capaces de soportar mayores densidades de corriente.

Las películas delgadas de Au, depositadas por PVD (Diode Sputtering), se emplean comúnmente para aumentar la conductividad eléctrica de muestras para ser observadas en microscopía electrónica de barrido (SEM). Sin embargo, este proceso, sumado a las condiciones de vacío requeridas, puede afectar las características morfológicas de muestras particularmente delicadas.

Entre los nuevos equipamientos instrumentales para la caracterización de superficies se encuentra el microscopio de fuerza atómica (AFM)^[6]. Éste basa su funcionamiento en el barrido de una punta a distancias atómicas sobre la muestra. Las deflexiones de la punta que resultan de este contacto cercano se emplean para

adquirir información sobre las características físicas de la superficie estudiada. Esta técnica, a diferencia de otras microscopías como SEM o TEM, no requiere ningún tipo de preparación de muestra para conseguir imágenes con una resolución del orden del nm, puede ser empleada tanto sobre muestras conductoras como aislantes y es completamente no destructivo.

En el presente trabajo, la técnica de AFM fue aplicada a la caracterización de dos tipos de depósitos diferentes: películas de Al crecidas mediante PVD (Magnetron Sputtering) y películas de Au formadas por PVD (Diode Sputtering).

2. Parte experimental

2.1 Materiales

Se usaron Al (99.99 %), Au (99.99 %), Ar (AGA, 99.999 %) y obleas de Si (Virginia Semiconductor). Los sustratos de Si fueron limpiados de acuerdo a la técnica convencional RCA^[7]. Los escalones usados en las determinaciones de los espesores de las películas fueron formados mediante el uso de máscaras que cubrían parcialmente la superficie de los sustratos.

2.2 Instrumental

2.2.1 PVD (Diode Sputtering). Se depositaron películas delgadas de Au sobre sustratos de Si mediante un equipo Edwards Sputter Coater S150 B. La presión de Ar fue de 7 mbar, aplicando un 1 kV y 40 mA. El tiempo de deposición fue variado entre 2 y 12 min.

2.2.2 PVD (Magnetron Sputtering). Las películas finas de Al sobre Si fueron depositados en un equipo de PVD (Magnetron Sputtering DC) fabricado por Pfeiffer GmbH. La configuración empleada fue “sputter up” y el sustrato permaneció estático durante todo el proceso. El espesor del blanco fue de 12 mm y el diámetro de 100 mm. La distancia entre blanco y sustrato fue de 35 mm, la cual se mantuvo constante en todas las experiencias. El sustrato no fue sometido a ninguna fuente externa de potencial o calor.

Después de insertar los sustratos en la cámara de vacío, el sistema fue evacuado hasta una presión menor a $1.0 \cdot 10^{-6}$ mbar. Posteriormente se ingresó Ar hasta una presión de $1.0 \cdot 10^{-5}$ mbar, donde se realizó un presputtering (sputtering de limpieza) por 5 minutos, para acondicionar el blanco, con el sustrato cubierto por el shutter provisto por el equipo. A continuación, a sustrato descubierto, la película fue depositada a una presión de argón de $1.0 \cdot 10^{-3}$ mbar.

En todas las deposiciones la presión se mantuvo constante, y se varió la potencia entre 50 y 500 W, y el tiempo de deposición con el objeto de estudiar su influencia en las características de los depósitos.

2.2.3. Microscopía de Fuerza Atómica. Las medidas de AFM fueron realizadas con un microscopio UltraObjective (Surface Imaging Systems GmbH), en modo no contacto (tapping). Se usaron cantilevers de Si con una constante de fuerza nominal Si de 48 N/m (NanoProbes GmbH). Las imágenes fueron corregidas por plano y escalón, sin usar filtros adicionales. El espesor de las películas fue determinado mediante la medición de la altura del escalón formado entre el depósito metálico y el sustrato de Si cubierto por la máscara durante la deposición.

3. Resultados

3.1 PVD (Diode Sputtering)

Se depositaron películas delgadas de Au mediante PVD (Diode Sputtering) de distintos espesores, variando solamente el tiempo de deposición.

El método usado para la determinación de espesores está ilustrado en la Figura 1. En primera instancia se localizó la zona del escalón entre la película y el sustrato, y se adquirió una imagen de AFM. Luego de una corrección por plano se trazó un perfil que fue usado para la medición del espesor, a partir de la diferencia de alturas entre el depósito y el sustrato.

Se encontró una relación de proporcionalidad directa entre el tiempo de deposición y el espesor de las películas, con una velocidad de deposición de 8.4 nm/min.

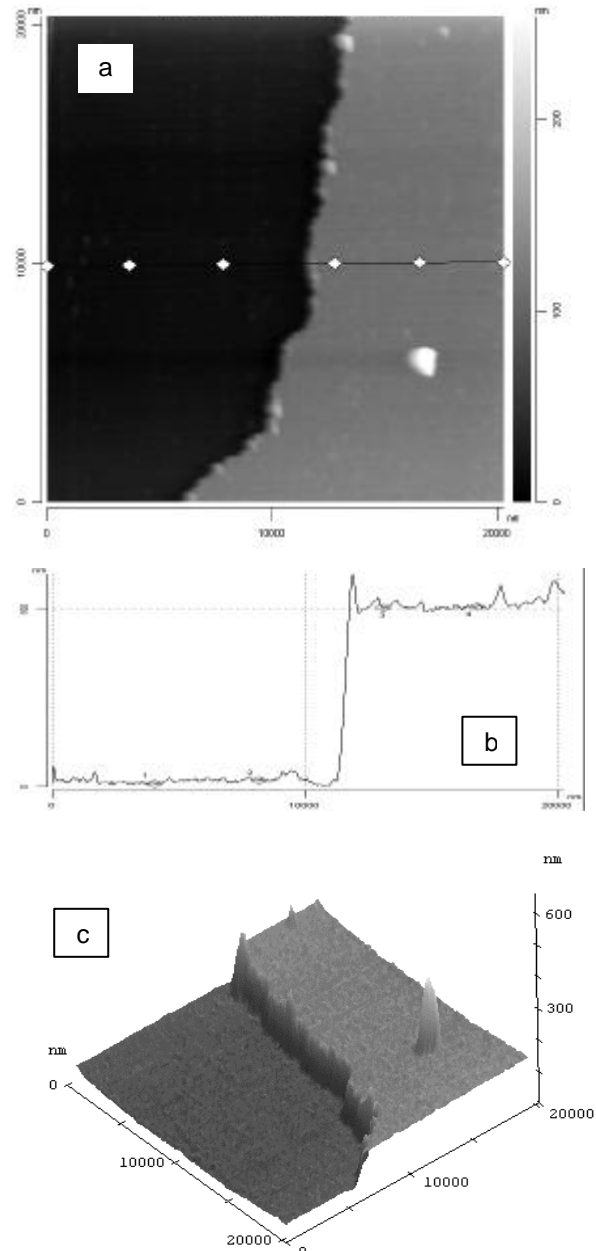


Figura 1. a) Imagen de un recubrimiento parcial de Au sobre una superficie de Si. b) Perfil de altura versus distancia usado en la determinación del espesor. c) Imagen tridimensional de a). Nótese la diferencia de escalas entre el eje z (altura) y los ejes x e y.

3.2 PVD (Magnetron Sputtering)

Las características finales del depósito crecido por PVD dependen de un número de variables experimentalmente accesibles, como el tiempo de deposición, la potencia, la presión de Ar, la distancia entre blanco y sustrato, el potencial y la temperatura del sustrato. Aquí se presentan los resultados del efecto del tiempo y la potencia, manteniendo constantes los demás factores.

La velocidad de deposición y la temperatura del sustrato son las principales variables que afectan los procesos de deposición existiendo una dependencia con la microestructura obtenida^[5].

En primera instancia, se determinaron las velocidades de deposición, a potencia constante. Con ese fin se midieron los espesores de películas formadas a distintos tiempos a potencias de 50 W y 300 W. Se obtuvo una relación de proporcionalidad directa entre el espesor y el tiempo, de cuya pendiente se calculó la velocidad de deposición, resultando un valor de 0.45 nm/s para 50 W y 2.3 nm/s para 300 W (Figura 2).

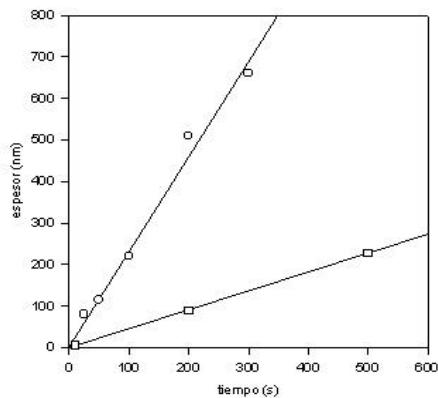


Figura 2. Gráfico de espesor vs tiempo de deposición para potencias constantes de 50 W (?) y 300 W(?).

Se determinó la dependencia de la velocidad de deposición con la potencia mediante la medición de los espesores de filmes obtenidos a tiempo constante, variando la potencia entre 10 y 500 W. Se obtuvo una proporcionalidad directa entre la potencia P y el espesor d (o la velocidad de deposición tomada como d/t), tal como fuera previamente informado por Ohring^[5] y C.R.Fuller y P.B.Ghate^[8]. Estos resultados permiten expresar el espesor como: $d = k.P.t$, donde k tiene un valor de $7.7 \cdot 10^{-3} \text{ nm.s}^{-1}.\text{W}^{-1}$ en las presentes condiciones de trabajo.

Simultáneamente, se analizó la textura de los depósitos formados, encontrándose que la misma depende de las condiciones de deposición. En la Figura 3 se muestran las imágenes AFM de los depósitos crecidos a diferentes velocidades de deposición, donde puede observarse que los filmes obtenidos a mayores potencias presentan estructuras más finas, con partículas de una altura promedio de 6 nm. Un análisis más detallado de la topografía de los filmes se encuentra en preparación^[9].

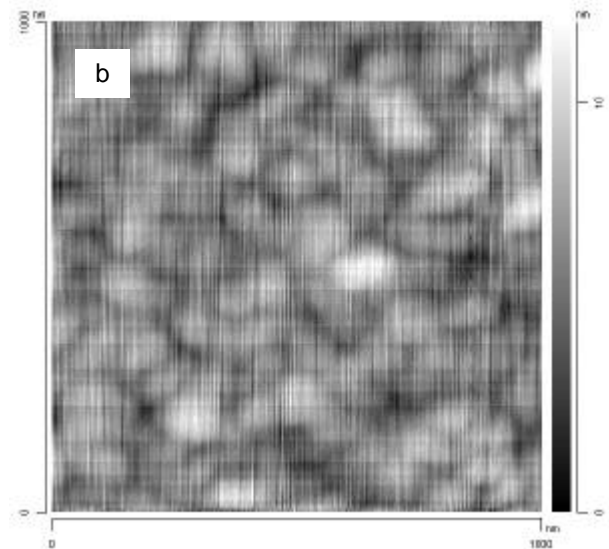
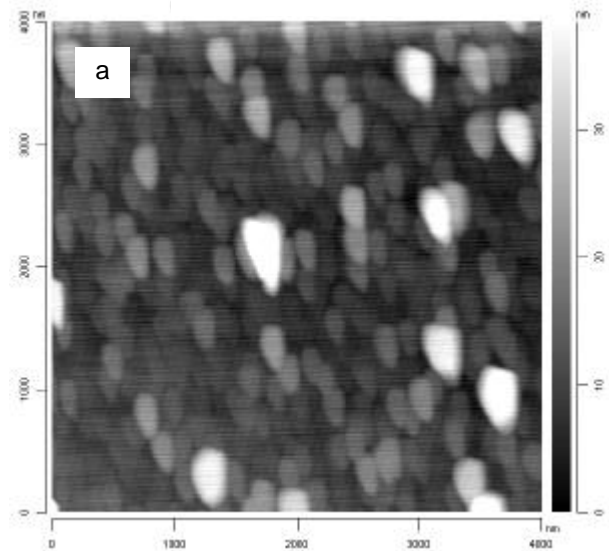


Figura 3. a) Imagen de un recubrimiento de Al sobre sustrato de Si a 300 W y 300 s. b) Idem a 500 W y 200 s.

4. Conclusiones

La técnica de AFM resulta una herramienta útil, en ciertos casos la única posible, para la determinación de espesores y análisis de texturas de películas muy delgadas, de manera no destructiva. En este trabajo se ha demostrado su utilidad en la caracterización de depósitos formados por PVD bajo diferentes condiciones de proceso.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado con el financiamiento del Instituto Nacional de Tecnología Industrial y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Los autores agradecen a la Ing. Liliana Fraigi por su asistencia y colaboración.

Referencias

- [1] A.J. Bard, *Integrated Chemical Systems: A Chemical Approach to Nanotechnology*, Wiley-Interscience, 1994.
- [2] Henrik Ljungcrantz., *Ph.D. Thesis*, Linköping Studies in Science and Technology, Sweden Disertation N° 408.
- [3] T.Bell, *Surface Engineering*, **6** (1990) 31.
- [4] Ohring, *The Materials Science of Thin Films*, Elsevier, 1993.
- [5] Jwo-Huei Jou, Cheng-Sheng Chung, *Thin Solid Films*, **235** (1993) 149-155.
- [6] R. Wiesendanger, *Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy*, Cambridge University Press, 1994.
- [7] W. Kern, D.A. Puotinen, *RCA Review*, Jun. 1970, 187.
- [8] C.R. Fuller and P.B.Ghate, *Proceedings of the International Conference on Metallurgical Coating*, San Diego, California, EE.UU., Abril 23-27, 1979.
- [9] D.A. Egidi, P.A.Corengia, M.O. Quinteiro, G.O. Ybarra, C.A. Moina, *Jornadas de Desarrollo Tecnológico 2000*, Instituto Nacional de Tecnología Industrial.