

# RESISTIVIDAD ELECTRICA DE PELICULAS DELGADAS DE ORO OBTENIDAS POR ION-PLATING

E. Broitman, D. Latorre y R. Zimmerman

Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires,  
Paseo Colón 850, (1063) Buenos Aires.

Es sabido que la resistividad eléctrica de las películas delgadas es mayor que la del material en volumen aún para espesores para los cuales el efecto Fuchs-Sondheimer es despreciable. En este caso, la mayor contribución a la resistividad se debe a impurezas y defectos cristalinos. Por eso es interesante hacer mediciones eléctricas en películas en que se pueda establecer la variación de la resistividad con la concentración de defectos, en especial bordes de grano. Esto puede lograrse comparando películas depositadas en vacío y por *ion-plating* porque esta última produce películas con tamaño de grano significativamente menor que las evaporadas en vacío.

En este trabajo se presentan mediciones de la resistividad de películas continuas de oro obtenidas por ambas técnicas, antes y después de tratamientos térmicos. El tamaño de grano de las películas fue observado por microscopía electrónica. Se discuten los resultados en función de la contribución a la resistividad del *scattering* en los bordes de grano.

## INTRODUCCION

Las mediciones de la resistividad eléctrica de películas delgadas metálicas muestran que su valor es mayor que el de la resistividad del material en volumen y que aumenta en función inversa al espesor<sup>1</sup>. Este aumento de la resistividad ha sido atribuido a dos mecanismos distintos de *scattering* de los electrones de conducción: *scattering* en la superficie de la película y *scattering* en los defectos cristalinos.

El *scattering* en la superficie fue descrito teóricamente por Fuchs-Sondheimer<sup>2</sup>:

$$\rho = \rho_{\infty} + 3 \rho_{\infty} \lambda_{\infty} (1 - p) / 8 d, \quad d / \lambda_{\infty} \gg 1$$

donde  $\rho_{\infty}$  y  $\lambda_{\infty}$  son la resistividad y el camino libre medio del material en volumen,  $p$  es el parámetro de especularidad y  $d$  es el espesor de la película.

El *scattering* por los bordes de grano fue descrito por la teoría de Mayadas y Shatzkes<sup>3</sup>. Estos investigadores consideraron que, cuando se trata de películas policristalinas, los bordes de grano son los que contribuyen más significativamente al incremento de la resistividad aún cuando no se trate de películas finamente granadas:

$$\rho = \rho_{\infty} + 1.39 \rho_{\infty} \lambda_{\infty} R / [(1 - R) \cdot D]$$

donde  $\rho_{\infty}$  y  $\lambda_{\infty}$  son la resistividad y el libre camino medio del material en volumen,  $R$  es el coeficiente de reflexión en el borde de grano y  $D$  es el diámetro medio de los granos.

Han sido publicados estudios<sup>4,5</sup> sobre la resis-

tividad de películas delgadas metálicas tal cual se obtienen al ser depositadas y después de tratamientos térmicos para aumentar el tamaño del grano, pero siempre se trata de películas obtenidas por evaporación en vacío. En este trabajo se han hecho mediciones en películas de oro obtenidas por la técnica de *ion-plating*, con la cual, por factores inherentes al método, para un mismo espesor se obtiene un tamaño de grano mucho menor que el de las depositadas en vacío<sup>6,7</sup>. Se han comparado los resultados para películas obtenidas por las dos técnicas.

## PARTE EXPERIMENTAL

Las películas de oro se depositaron sobre sustratos cerámicos para películas delgada (AL-SIMAG 838) mantenidos a temperatura ambiente.

Las películas obtenidas en vacío se evaporaron a una presión de  $10^{-5}$  mmHg. Las películas depositadas por *ion-plating* se obtuvieron en una atmósfera de argón a una presión de 20  $\mu$ mHg con una tensión de 3 kV y una densidad de corriente de 0,4 mA/cm<sup>2</sup>.

El espesor de las películas se midió por un método interferométrico. La resistividad se obtuvo midiendo la resistencia de trayectos delineados por fotolitografía. La morfología de las películas se observó por microscopía electrónica de transmisión, para lo cual espesores iguales, suficientemente delgados, fueron depositados por ambas técnicas sobre sustratos monocristalinos de CINA.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### I. Resistividad.

#### *Películas sin tratamiento térmico.*

En las figs. 1 y 2 se muestra una variación de  $\rho$  con la temperatura para muestras de espesores diferentes obtenidas en vacío y *ion plating*.

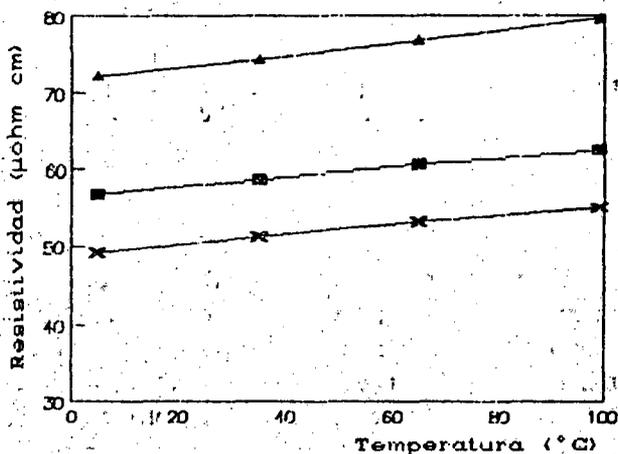


Figura 1: Muestra de vacío sin trat. térmico. (▲): 2300 Å; (■): 3000 Å; (X): 3900 Å.

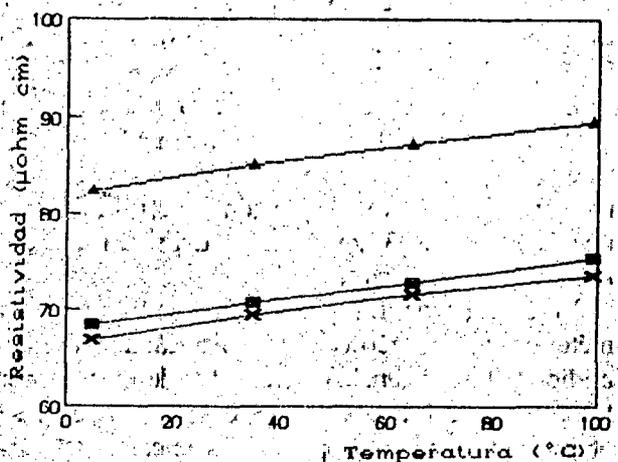


Figura 2: Muestra ion-plating sin trat. térmico. (▲): 2400 Å; (■): 3200 Å; (X): 3700 Å.

En ambos casos se puede observar que  $\rho$  aumenta a medida que disminuye el espesor. La diferencia entre ambas técnicas es que, para espesores aproximadamente iguales, el valor de  $\rho$  para películas obtenidas por *ion-plating* es siempre mayor que el de las obtenidas en vacío.

Un segundo aspecto es que las tres curvas de  $\rho$  vs.  $T$  tienen la misma pendiente. Eso indica que la variación de la resistividad con la temperatura no depende del espesor.

#### *Muestras tratadas térmicamente.*

El tratamiento térmico consistió en un calentamiento a 250°C durante 90 minutos en un horno a presión atmosférica.

En las figs. 3 y 4 se muestra la variación de  $\rho$  vs.  $T$  después de los tratamientos térmicos. El valor de la resistividad de las muestras obtenidas por *ion-plating* se mantiene mayor que el de vacío, con la diferencia que mientras la  $\rho$  de las de vacío ha decaído un 30% las de *ion-plating* solo un 5%. Nuevamente se observa que la variación de  $\rho$  con la temperatura no depende del espesor.

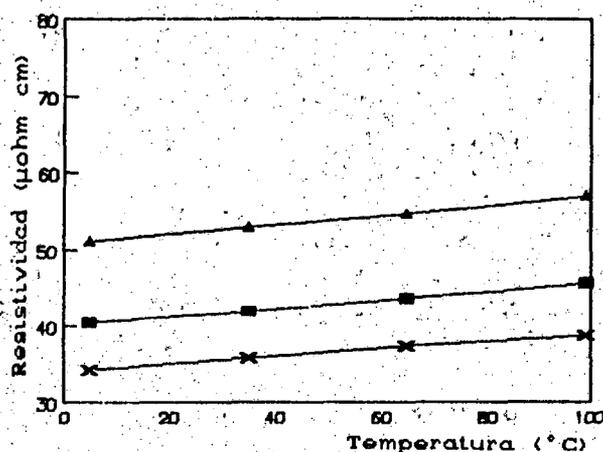


Figura 3: Muestra de vacío con trat. térmico. (▲): 2300 Å; (■): 3000 Å; (X): 3900 Å.

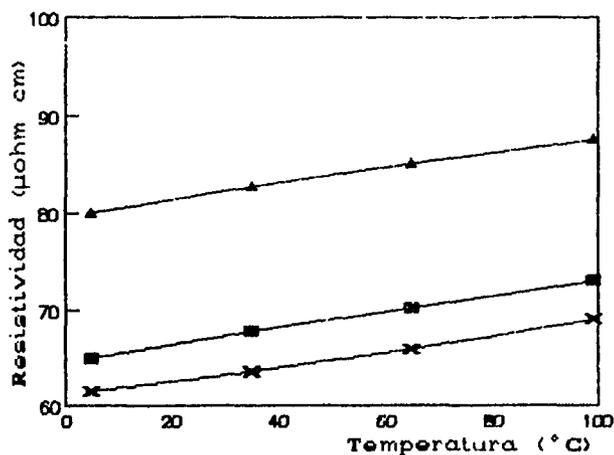


Figura 4: Muestra ion-plating con trat. térmico. (▲): 2400 Å; (■): 3200 Å; (X): 3700 Å.

## 2. Morfología.

### Muestras sin tratamiento térmico.

La observación por microscopía electrónica mostró para las muestras en vacío (fig.5) una gran dispersión de tamaño de grano. El valor promedio del diámetro de grano resulta  $D = 350 \text{ \AA}$ .

Las películas obtenidas por *ion-plating* (fig.6) muestran un tamaño de grano uniforme y considerablemente menor:  $D = 210 \text{ \AA}$ .

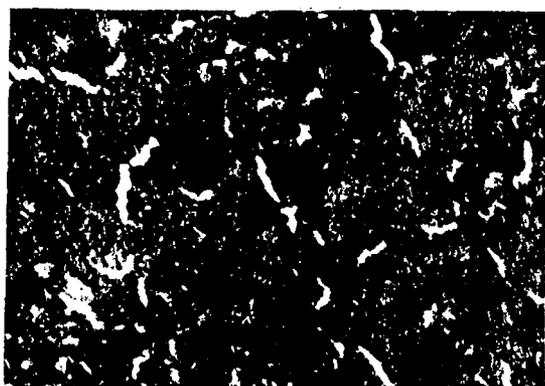


Figura 5: Película de vacío sin tratamiento térmico. Espesor: 590 Å. Aumento: 56.000 ×.

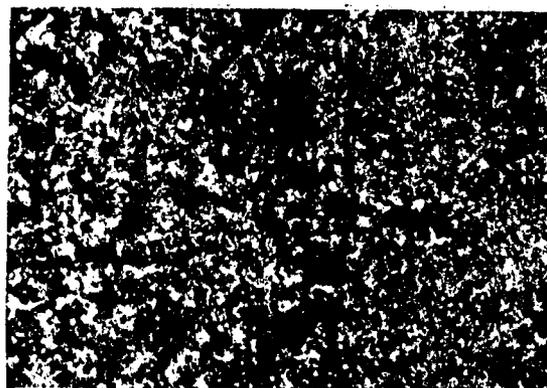


Figura 6: Película por ion-plating sin trat. térmico. Espesor: 530 Å. Aumento: 56.000 ×.

### Muestras tratadas térmicamente.

Después del tratamiento térmico en las películas de vacío el tamaño de los granos aumenta drásticamente:  $D = 650 \text{ \AA}$  (fig. 7) mientras que en las de *ion-plating* el tamaño ha aumentado ligeramente y la distribución se ha mantenido uniforme (fig.8).

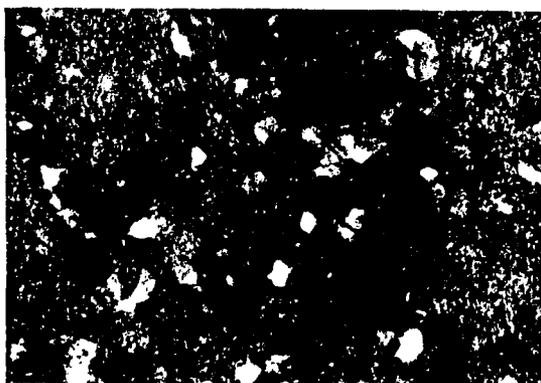


Figura 7: Película de vacío con tratamiento térmico. Espesor: 590 Å. Aumento: 56.000 ×.

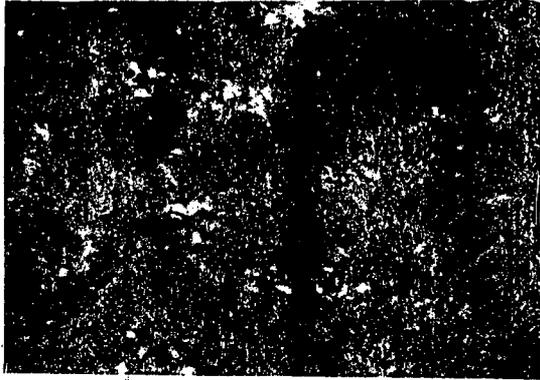


Figura 8: Película por ion-plating con tratamiento térmico. Espesor: 530 Å. Aumento: 56.000 ×.

### CONCLUSIONES

El hecho que para espesores comparables la resistividad en las películas obtenidas por *ion-plating* es mayor que las de vacío concuerda con la observación que su tamaño de grano es menor.

La disminución drástica de la resistividad en las películas de vacío después de tratamientos térmicos concuerda con el considerable crecimiento del tamaño de grano.

Ambos resultados indican que la contribución dominante al valor de la resistividad es el *scattering* en los bordes de grano y si recordamos que esa contribución es independiente de la temperatura, también explica que la variación de  $\rho$  en función de  $T$  sea independiente del espesor.

### BIBLIOGRAFIA

1. L.I.Maissel en *Handbook of Thin Film Technology*, Mc.Graw Hill Book Co., New York (1970) cap.13.
2. K.L.Chopra en *Thin Film Phenomena*, Mc.Graw Hill Book Co., New York (1969) cap.6.
3. A.F.Mayadas, M.Shatzkes y J.F.Janak, *App. Phys.Lett.*, 14 (1969) 345-347.
4. J.R.Sambles, *Thin Solid Films* 106 (1983) 321-331.
5. J.W.C. de Vries, *Thin Solid Films* 150 (1987) 201-208.
6. D.G. Teer, *Proc.Conf. on Ion Plating and Allied Techniques* (1977) 13-31.
7. R.Zimmerman, E.Broitman y D.Latorre, *Thin Solid Films* 165 (1988) 101-105.