

## CARACTERIZACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA EN LÁMINAS DELGADAS DE Cu-Al-Ni

Mauricio Morán (1), Adriana M. Condó (1, 2), Néstor Haberkorn (1, 2).

(1) Instituto Balseiro (UNCuyo), San Carlos de Bariloche, Argentina. (2) Centro Atómico Bariloche (CNEA) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), San Carlos de Bariloche, Argentina. [mjmoran@cab.cnea.gov.ar](mailto:mjmoran@cab.cnea.gov.ar)

El diseño de microsistemas basados en aleaciones con memoria de forma requiere entender cómo la transformación martensítica es afectada por los tamaños característicos del material [1]. Las propiedades resultantes también dependen de la aleación y el tipo de transformación martensítica (TM). La fabricación y diseño de dispositivos termomecánicos usualmente se basa en el crecimiento de láminas delgadas mediante pulverización catódica [2]. En este caso, la TM es afectada por la microestructura, que difiere de aquella obtenida mediante reducción de materiales volumétricos. En este trabajo, se reporta el crecimiento de láminas delgadas de Cu-Al-Ni mediante pulverización catódica sobre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (001). Se utilizó un blanco de composición Cu-27,35 at. % Al-5,45 at. % Ni con una temperatura de inicio de transformación ( $M_S$ )  $\approx -23$  °C. Láminas delgadas con espesor de 2  $\mu\text{m}$  fueron crecidas a temperaturas de sustrato ( $T_S$ ) de 230 °C, 260 °C, 290 °C y 320 °C. Se incluyó una capa de sacrificio Fe de 150 nm crecida a 450 °C, que permite mediante su disolución anódica (en  $\text{H}_3\text{BO}_3$  0,5 M) obtener láminas de Cu-Al-Ni separadas del sustrato. La microestructura de las muestras se estudió por difracción de rayos X (XRD) usando radiación Cu  $K_\alpha$ , empleando un equipo PANalytical Empyrean, y por microscopía electrónica de transmisión (TEM), utilizando un microscopio electrónico de transmisión Philips CM200 UT operado a 200 kV. Las muestras para TEM fueron preparadas utilizando un adelgazador iónico Gatan PIPS. La TM se caracterizó midiendo resistencia en función de la temperatura. La Figura 1 muestra el patrón XRD obtenido para la lámina delgada crecida a  $T_S = 260$  °C. En el mismo se observan todos los picos correspondientes a la fase austenita ( $\beta$ ) y picos correspondientes a la fase  $\gamma$ . Similares XRD fueron obtenidos para las demás láminas delgadas. El tamaño de grano presente para las diferentes muestras fue analizado mediante TEM. La Figura 2.a muestra una imagen de TEM para la lámina delgada crecida a  $T_S = 230$  °C. La Figura 2.b muestra la difracción de electrones obtenida desde la imagen. Los diferentes anillos pueden ser indexados de acuerdo a las fases  $\beta$  y  $\gamma$ , lo cual coincide con los resultados de XRD. En la Figura 2.c se observa una imagen de granos de fase  $\gamma$ , identificados por su patrón de difracción (ver ejemplo en el recuadro en la Figura 2.c). La microestructura de la muestra está formada por granos de tamaño nanométricos ( $\sim 150$  nm). El tamaño de grano medio crece sistemáticamente de  $\approx 105$  nm hasta 165 nm cuando la  $T_S$  es incrementada de 230 °C a 320 °C (ver Tabla 1). Las mediciones de resistividad en función temperatura muestran que todas las láminas presentan TM (ver Figura 3). Se esperan cambios respecto a la  $M_S$  del blanco dado que las láminas delgadas pueden crecer a una composición ligeramente diferente. Los valores de  $M_S$  y de la histéresis (H) de la transformación se incrementan cuando sube la  $T_S$  (ver Tabla 2). El incremento en la H es opuesto a las expectativas dado el aumento en el tamaño de grano. Ambos efectos (cambio en  $M_S$  y en H) pueden asociarse a la presencia de precipitados de fase  $\gamma$ . Estos precipitados cambian localmente la composición química de la fase  $\beta$  e incrementan la H dado que actúan como barrera para el crecimiento de variantes de martensita. En conclusión se logró obtener láminas delgadas policristalinas de Cu-Al-Ni mediante pulverización catódica. Todas las láminas presentan TM. El valor de  $M_S$  y la H de la transformación pueden ser modificados cambiando la temperatura de crecimiento. La formación de precipitados  $\gamma$ , influida por la  $T_S$ , afecta al valor de temperatura  $M_S$  y la histéresis de la TM.

### REFERENCIAS

- [1] S. A. Wilson et al., (2007) "New materials for micro-scale sensors and actuators" *Mat. Sci. Eng. R* 56 :1-129.  
[2] K. Wasa, S. Hayakawa, (1992) "*Handbook of Sputter Deposition Technology*", Noyes Publications, New Jersey, USA.

**AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos P. Troyon, C. Gómez Bastidas y D. Wilberger por la asistencia técnica. Este trabajo fue financiado por ANPCyT PICT 2012-0884.

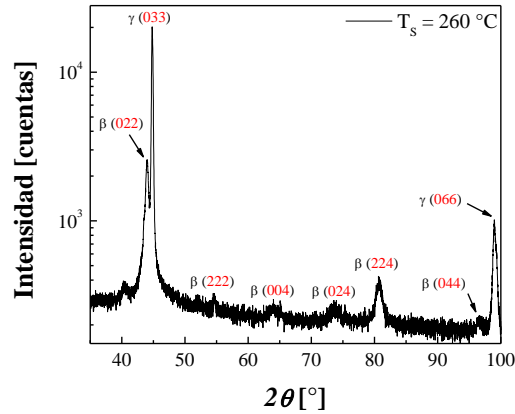


Figura 1: Patrón XRD de la lámina de Cu-Al-Ni crecida a  $T_s = 260$  °C.

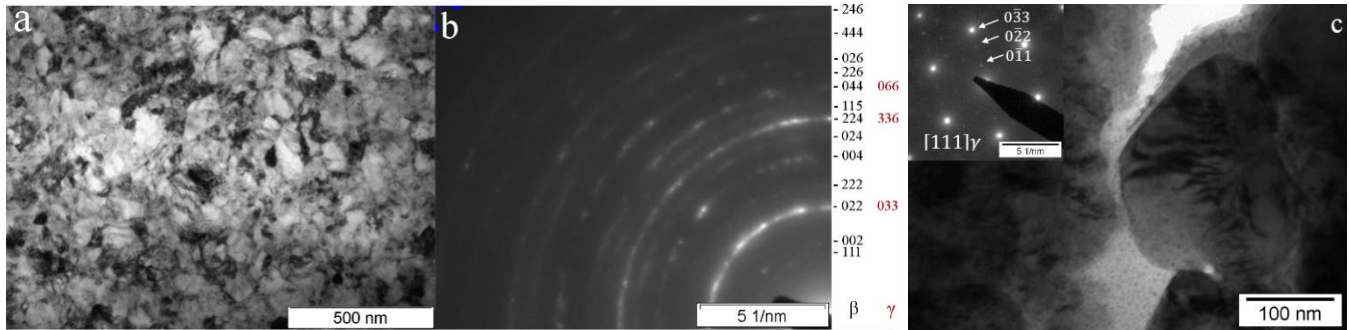


Figura 2: a. Imagen de campo claro de una lámina de Cu-Al-Ni crecida a  $T_s = 230$  °C. b. Difracción de electrones de a. c. Imagen de campo claro de granos fase  $\gamma$ , el recuadro muestra su correspondiente patrón de difracción.

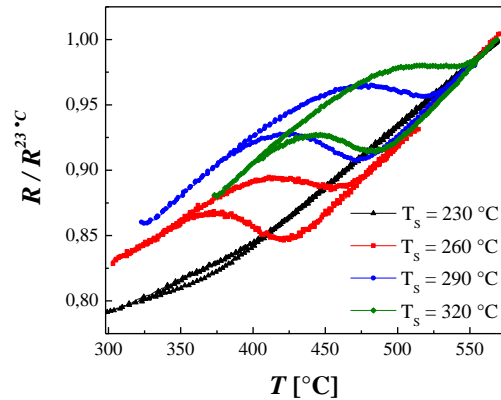


Figura 3: Resistividad en función de la temperatura para diferentes  $T_s$ .

Tabla 1. Evolución del tamaño de grano medio con  $T_s$ .

$T_s$ (°C)	Tamaño (nm)
230	$105 \pm 3$
260	$113 \pm 2$
290	$157 \pm 6$
320	$165 \pm 6$

Tabla 2. Evolución  $M_s$  y la histéresis con  $T_s$ .

$T_s$ (°C)	$M_s$ (°C)	H (°C)
230	-163	17
260	-118	33
290	-67	43
320	-55	55

