

# Propiedades Eléctricas y Piezorresistivas de Resistores de Película Gruesa

D. BOFFELLI<sup>1</sup>, E. BROITMAN Y R. ZIMMERMAN

LABORATORIO DE PELÍCULAS DELGADAS, DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
PASEO COLÓN 850 - (1063) BUENOS AIRES - ARGENTINA  
e-mail: ebroitm@aleph.fi.uba.ar

*Los resistores de película gruesa tipo cermet, ajustados por el método convencional de recorte, sufren cambios irreversibles en ciclos sucesivos de deformación. En este trabajo se evalúa la estabilidad de resistores ajustados por irradiación láser. Se estudian la resistencia, coeficiente térmico de resistencia y factor extensométrico de resistores con y sin tratamiento superficial. La superficie irradiada fue caracterizada por espectroscopía Auger.*

*Conventionally trimmed resistors produce unacceptable resistance drift when stressed. The stability of resistors adjusted by laser irradiation is evaluated. Measurements of resistance, temperature coefficient of resistance and gauge factor are reported for both as-fired and adjusted resistors. Full surface laser irradiated resistors were inspected by AES.*

## 1. Introducción

El efecto piezorresistivo en resistores de película gruesa ha sido investigado desde la década del 70 para aplicarlo en sensores de deformaciones de alta sensibilidad y bajo costo [1].

Se ha mostrado que la sensibilidad a las tensiones de resistores ajustados por recorte con láser sufre cambios irreversibles en sucesivos ciclos de tensión y compresión. Estos cambios han sido explicados por la formación de microfisuras durante el ajuste que luego se propagan bajo tensión [2].

Recientemente se ha propuesto un nuevo método de ajuste por irradiación láser que involucra una modificación superficial de la tinta resistiva [3]. Con este método, a diferencia del de recorte, se obtiene una disminución de los valores de resistencia. Se ha informado sobre los cambios introducidos en la estructura y en las

propiedades eléctricas [4-6] pero no hay nada publicado sobre la modificación del factor extensométrico y la estabilidad del mismo.

En este trabajo se irradió la superficie de resistores de película gruesa de base RuO<sub>2</sub> con un láser continuo de Nd:YAG. Se midió la resistividad, el coeficiente térmico de resistencia y el factor extensométrico antes y después del tratamiento superficial. Se analizaron los cambios en los mecanismos de conducción inducidos por el tratamiento superficial, para lo cual la modificación de la tinta fue caracterizada por espectroscopía Auger. Se evaluó la estabilidad de los sensores ajustados por este método.

## 2. Método Experimental

Se depositaron por técnicas serigráficas películas gruesas (espesor  $\approx 10\mu\text{m}$ ) de tintas resistivas de base RuO<sub>2</sub> (1641 Birox Du Pont) de 10 k $\Omega/\square$  sobre substratos de alúmina 96% (de espesor 0,254 mm). Para los contactos se usó una tinta conductora de Ag/Pd. Las tintas fueron secadas a 170 °C durante 10 minutos y luego recocidas durante 60 minutos en un horno de siete zonas con un pico de 850 °C durante 10 minutos.

Se empleó un láser continuo de Nd:YAG ( $\lambda=1064\text{nm}$ ) con una potencia de salida de 4W y un diámetro de haz de 40  $\mu\text{m}$  que puede desplazarse sobre una plataforma. Un mecanismo computarizado permitió el barrido x- y de los resistores

El coeficiente térmico de resistencia (TCR) se determinó entre 0 y 125°C. Para la medición del factor extensométrico (GF), se usó el método del "cantilever".

La espectrometría Auger se realizó con un haz electrónico primario de 3 keV y una

<sup>1</sup>HIBRICOM S.A., (1886) RANELAGH, BUENOS AIRES.

corriente de 3,5  $\mu\text{A}$ . Los perfiles de composición se obtuvieron usando un cañón de iones de argón operando a 3 keV.

### 3. Resultados y Discusión

Sobre cada uno de los substratos se depositaron 50 resistores de 1mm  $\times$  3mm. De ellos, 15 se ajustaron a un valor fijo, 15 se irradiaron en toda la superficie y 20 se dejaron sin tratar para control.

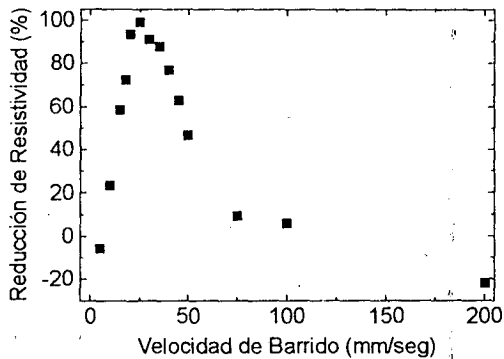


Fig. 1: Reducción de resistividad vs. velocidad de barrido.

En la Fig. 1 se muestra el porcentaje de reducción de la resistividad en función de la velocidad de barrido. En este trabajo se usó una velocidad de  $v = 25$  mm/seg, que es el valor correspondiente a la máxima reducción.

El valor medio de los resistores tal como se obtienen fue  $R_m = 30,67\text{k}\Omega$  (con una dispersión  $\sigma = 6$  %). Este valor fue ajustado por irradiación superficial a  $25\text{k}\Omega$  ( $R_m - 3\sigma$ ).

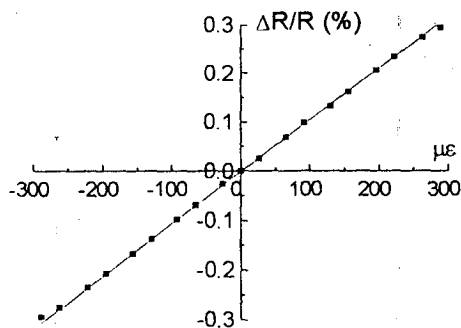


Fig. 2: Cambio relativo de la resistencia vs. deformación para un resistor irradiado.

Valores promedio de TCR y GF fueron obtenidos para resistores tal como se obtienen y

para resistores ajustados. Se observó un aumento del TCR de 0 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  a 40 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  y una disminución del GF de 11.2 a 10.1.

En la Fig. 2 se muestra la variación de  $\Delta R/R$  en función de la deformación para resistores con ajuste. La respuesta es lineal, simétrica y libre de histéresis.

Para caracterizar la modificación de la tinta inducida por el láser se investigaron resistores irradiados en toda su superficie. Después del tratamiento el valor de la resistencia fue de  $256,6\Omega$  ( $\sigma = 10\%$ ), el TCR de  $2550$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$  y el  $\text{GF} = 2$ . La variación también fue lineal, simétrica y libre de histéresis. Los valores medidos corresponden a una conducción metálica e indican que el láser debe haber producido algún cambio en la composición y en la microestructura. Para caracterizarlos se hizo un análisis por espectroscopía Auger.

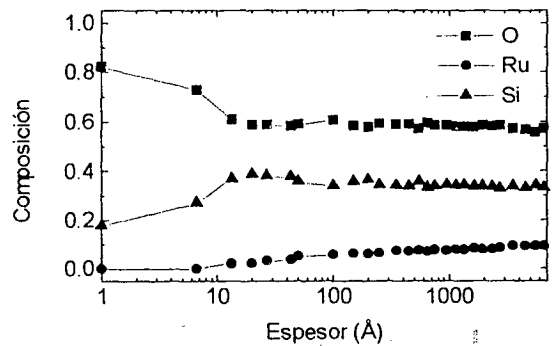


Fig. 3: Composición de un resistor tal como se obtiene.

En las Figs. 3 y 4 se muestran la composición obtenida para resistores tal como se obtienen y

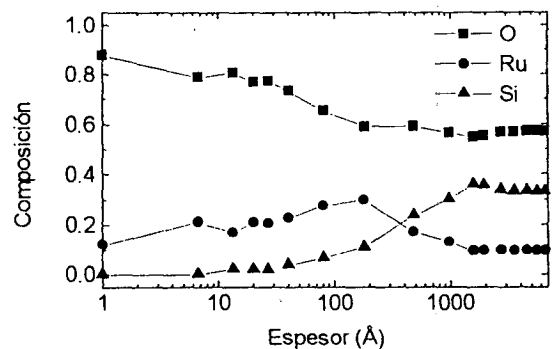


Fig. 4: Composición de un resistor irradiado.

para resistores irradiados con láser en función de la distancia a la superficie de la película. Sólo se monitorearon silicio, oxígeno y rutenio.

Para los resistores sin ajuste no se detectó Ru en la superficie. Su concentración fue aumentando lentamente hasta alcanzar un valor constante a partir de los 5nm para una composición Ru: 10 %, Si: 33 %, O: 57 %.

En el resistor irradiado la concentración de Ru próxima a la superficie es alta llegando a un máximo de 30% a 20 nm y decreciendo luego lentamente hasta alcanzar una composición constante igual a la del resistor sin tratar a 150 nm de profundidad. No se observa corrimiento de energía en la posición del Ru.

Al igual que en los resistores de película delgada de cermet [7], en el resistor sin ajuste el mecanismo dominante de conducción se atribuye a un proceso de "tunneling" entre los granos de RuO<sub>2</sub> a través del vidrio dieléctrico [8]. Los resultados AES explican el comportamiento eléctrico después del tratamiento con láser. En una capa superficial de 150 nm ha desaparecido el vidrio intermedio y los granos de óxido se han conectado provyendo conducción metálica.

#### 4. Conclusiones

El estudio ha demostrado la factibilidad de ajustar la resistencia de sensores de deformación de película gruesa sin sacrificar la reversibilidad. Como consecuencia de la irradiación láser, en una capa superficial el mecanismo de conducción tipo túnel de las tintas resistivas basadas en el cermet RuO<sub>2</sub>/vidrio se transforma en uno de tipo metálico con la consiguiente disminución del factor extensométrico.

#### Referencias

- [1] B.Morten and M.Prudenziati, en "Thick Film Sensors", M.Prudenziati (Ed.), Elsevier Science B.V., Amsterdam (1994) 189.
- [2] J.S.Shah, IEEE Trans. CHMT-3 (1980) 410.
- [3] E.Gofuku, M.Takada y H.Takasago, U.S. Patent No. 4785157 (1988).
- [4] E.Gofuku, T.Ogama y H.Takasago, J.Appl.Phys. 66 (1989) 6126.
- [5] H.Takasago, E.Gofuku, M.Takada y Y.Morihiro, J.of Elect.Mater. 18(1989) 651.
- [6] D.J.Giesecke, D.J.Ryan y A.P.Genis, ISHM'92 Proceedings (1992) 7.
- [7] T.J.Coutts en "Electrical Conduction in Thin Metal Films", Elsevier, Amsterdam (1974) 224
- [8] G.E.Pike y C.H.Seager, J.Appl.Phys. 48 (1977) 5152.