

Respuesta Eléctrica a las Deformaciones Mecánicas en Películas Delgadas del Cermet Cr-SiO_x

M.I.PASCUET, E.BROITMAN, P.J.ALONSO, R.ARAGÓN 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

Se investigaron las propiedades eléctricas y el factor extensométrico de películas del cermet Cr/SiO_x en composiciones 50/50 y 70/30 % en peso, para evaluar su uso en dispositivos "strain gauge". Las películas fueron depositadas por evaporación "flash". Las estructuras y fases resultantes fueron caracterizadas por microscopía y difracción de electrones. Se estudió la influencia del espesor y la velocidad del depósito sobre la resistencia laminar, el coeficiente térmico de resistencia y el factor extensométrico. Los resultados son consistentes con un mecanismo de conducción mixto, con una componente metálica y otra por efecto túnel térmicamente activado, entre fases conductoras interconectadas y discretas, respectivamente.

The electrical properties and gauge factor of Cr/SiO_x cermet thin films in 50/50 and 70/30 w% composition were evaluated for possible application in "strain gauge" devices. Flash evaporation was employed and the resulting structure and phases were characterized by electron microscopy and diffraction. The influence of thickness and deposition rate on sheet resistance, TCR and gauge factor were investigated. The results are consistent with a mixed conduction mechanism with metallic and thermally activated tunnelling components, between interconnected and discrete conducting phases, respectively.

1. Introducción

Se ha demostrado teórica y experimentalmente^{1,2} que las películas metálicas discontinuas tienen factores extensométricos considerablemente mayores que las películas continuas. Esto es un resultado de la conducción por efecto túnel activado entre las islas de la película discontinua. Sin embargo los

trayectos resistivos de películas discontinuas son poco reproducibles e inestables³.

Se ha intentado obtener un efecto análogo con películas de cermets (cerámico más metal), constituidas por partículas metálicas embebidas en una matriz dieléctrica, generalmente un óxido. Su comportamiento eléctrico es similar al de las películas discontinuas, porque la conducción es también por efecto túnel, pero en este caso el espacio entre islas se llena con el material dieléctrico, confiriendo estabilidad a las películas.

Por su amplio uso en la fabricación de resistores de película delgada se han publicado numerosos trabajos acerca de las propiedades eléctricas del cermet Cr-SiO en función de composición, parámetros de depósito, tratamientos de estabilización, etc.⁴⁻⁶, pero no se han informado sus propiedades piezorresistivas.

En este trabajo se estudian las propiedades eléctricas y piezorresistivas de películas delgadas de Cr-SiO y su correlación con las propiedades estructurales.

2. Método Experimental

Las películas se depositaron por la técnica de flash. Se utilizaron cermets provistos por Balzers de dos composiciones diferentes: 50%Cr - 50%SiO y 70%Cr - 30%SiO.

Se usaron como sustratos mylar, para las mediciones de la resistencia laminar (R_l), del coeficiente térmico de resistencia (TCR) y del factor extensométrico (G) y monocristales de NaCl para la observación por microscopía y difracción electrónica. Se depositaron espesores entre 75 y 195 nm con velocidades entre 0.5 y 2 nm/seg.

Una vez obtenidas las películas de cermets, se estabilizaron por calentamiento en aire a 100 °C

durante 24 horas y se depositaron electrodos de cobre a través de máscaras de contacto.

Para la medición del factor extensométrico se usó el método del cantilever⁷. Los sensores se pegaron a la viga con un adhesivo anaeróbico y se soldaron conectores externos a los electrodos de cobre. La variación de resistencia del sensor cuando se somete a deformaciones fué determinada con un comparador de impedancias que da directamente la variación porcentual de la resistencia con respecto a su valor anterior con una sensibilidad de hasta 0,01 %.

3. Resultados y Discusión

Los diagramas de difracción de las películas de cermet 70:30 y 50:50 mostraron unos pocos anillos de difracción considerablemente ensanchados.

Para la identificación de las estructuras presentes se indujo la cristalización de la película por calentamiento "in situ" con el haz de electrones. Esto permitió obtener un diagrama de difracción de anillos muy definidos (fig. 1). La medición de los anillos mostró la presencia del Cr₃Si para ambos cermets y la de Cr metálico sólo para el cermet 70:30.

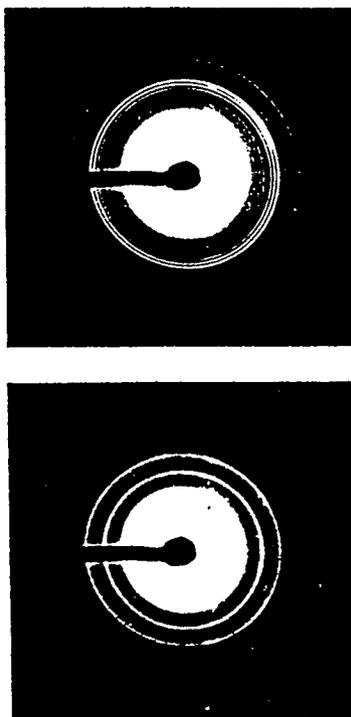
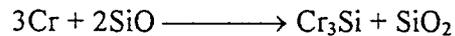


Fig. 1: Diagramas de difracción de electrones para cermet (a): 50:50 y (b): 70:30.

La presencia de Cr₃Si ha sido explicada teniendo en cuenta que el OSi puede desproporcionarse en una mezcla de Si + SiO₂⁴. El Si libre reacciona con el Cr formando el siliciuro según la reacción:



El SiO₂ no puede ser identificado porque no cristaliza en las condiciones empleadas.

La observación por microscopía electrónica mostró una estructura amorfa con una dispersión de partículas muy pequeñas. El cermet de mayor porcentaje atómico de OSi mostró una dispersión más fina.

El tamaño de las partículas no pudo ser determinado con la microscopía pero a partir de los diagramas de difracción obtenidos antes de la recristalización se pudo estimar que el tamaño de grano debe ser menor que 2 nm.

En la figura 2 se muestra la variación de R_l en función del espesor para películas de ambos cermets, obtenidas con una velocidad de evaporación de 1.5 nm/seg. Se observa que la dependencia de R_l con el espesor, tal como en las películas metálicas, es función inversa del espesor. Los valores de R_l son mayores que los de las películas metálicas y para un mismo espesor son mayores para el cermet de menor contenido metálico.

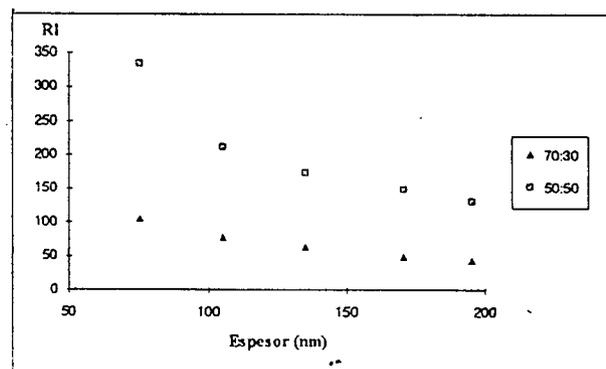


Figura 2: Resistencia laminar (Ω/□) vs. espesor.

La medición del TCR indicó prácticamente el mismo valor para todos los espesores en cada caso. Para el cermet 70:30: -180 ppm/°C, mientras que para el cermet de menor contenido metálico aumenta a -400 ppm/°C.

El TCR negativo sugiere conducción por efecto túnel activado pero los bajos valores

medidos de R_1 indican que este mecanismo no es el único presente.

Hemos visto que el sistema OSi + Cr es complejo porque los componentes son químicamente reactivos. La formación de Cr_3Si promueve conexión entre las islas, por lo que una descripción más realista puede lograrse considerando dos componentes de la conducción⁸. Una componente R_1 asociada a un proceso de conducción activada entre islas, cuya dependencia con la temperatura está dada por:

$$R_1 = R_\infty \exp(\varepsilon/kT)$$

donde R_∞ es la resistencia límite y ε es la energía de activación. Una componente R_2 asociada a la conducción filamentosa de la fase metálica (Cr_3Si , Cr) y que puede ser descrita por:

$$R_2 = R_0(1+\alpha\theta)$$

R_0 es la resistencia a $\theta = 0^\circ C$.

En una primera aproximación se puede considerar que los dos procesos son independientes y la resistencia en paralelo resulta $1/R_c = 1/R_1 + 1/R_2$

o sea:

$$R_c = \frac{R_0 R_\infty (1+\alpha\theta) \exp(\varepsilon/kT)}{R_0 (1+\alpha\theta) + R_\infty \exp(\varepsilon/kT)}$$

La contribución relativa de cada uno de las componentes determina los valores de las constantes R_0 y R_∞ .

En la figuras 3 y 4 se muestran la influencia de la velocidad de depósito sobre la R_1 y el TCR

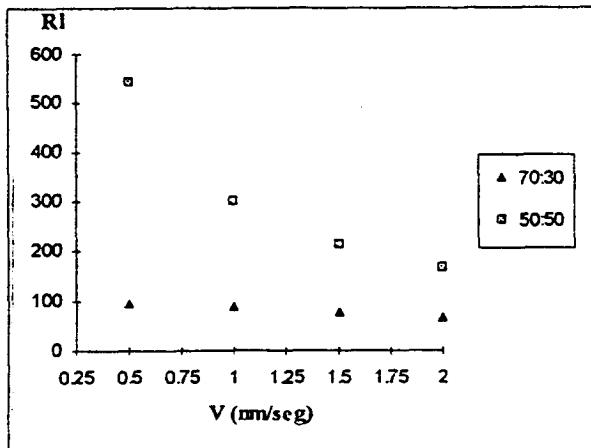


Fig. 3- Resistencia laminar (Ω / \square) vs velocidad de depósito, espesor de las muestras: 105 nm.

para las dos composiciones. Se observa que al aumentar la velocidad de depósito la R_1 disminuye y el TCR es menos negativo. Esto puede explicarse teniendo en cuenta la observación⁹ que a altas velocidades de evaporación se produce un mejor mezclado del material evaporado de manera que los componentes interactúan más fácilmente.

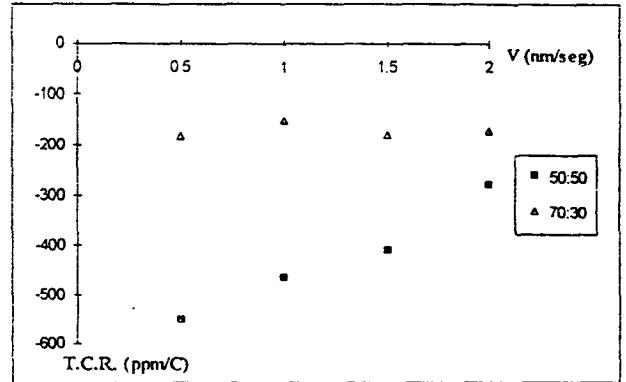


Fig. 4 - T.C.R. vs. velocidad de depósito, espesor de las muestras: 105 nm.

En la figura 5 se muestra la respuesta a tensiones tensiles y compresivas de un sensor de 105 nm de espesor del cermet 50:50. La respuesta es lineal y no muestra histéresis.

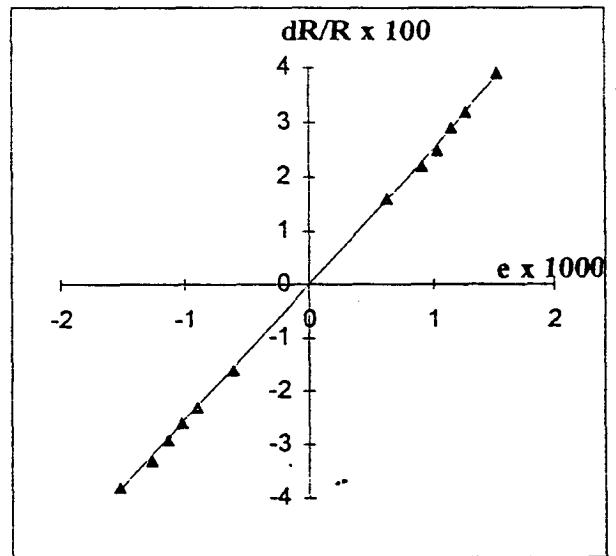


Fig. 5 - $\Delta R/R$ vs. deformación.

La figura 6 muestra la variación del factor extensométrico en función del espesor para las dos composiciones. Los valores de G son mayores para el cermet de menor contenido de Cr y en ambos casos disminuye al aumentar el espesor.

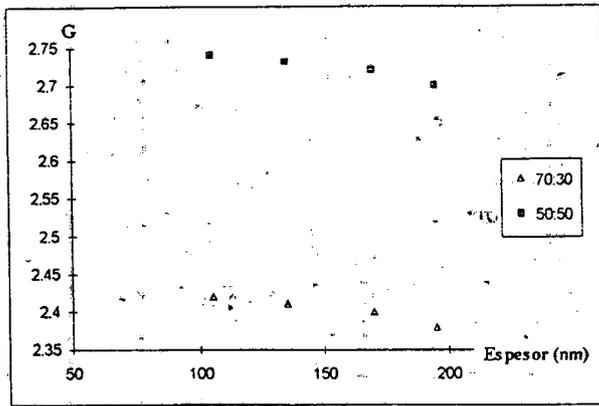


Fig. 6 - Factor extensométrico vs. espesor.

La figura 7 ilustra la variación de G en función de la velocidad para muestras de 105 nm. Nuevamente, cuanto mayor es la contribución metálica, menor el factor extensométrico. Si bien los valores de G resultaron mayores que para metales puros, son mucho más bajos que los informados para películas discontinuas^{7,10-12}

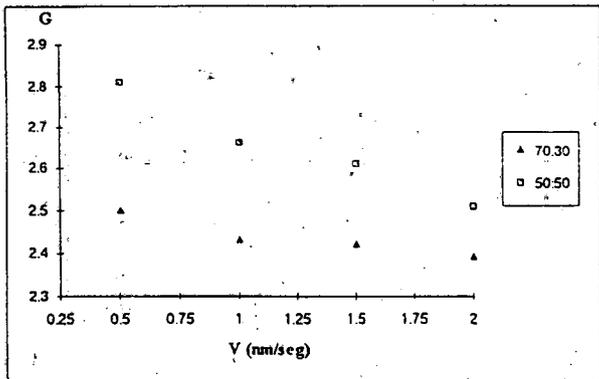


Fig. 7 - Factor extensométrico vs. velocidad de evaporación.

4. Conclusiones

Los valores de la resistencia laminar, TCR y factor extensométrico de las películas del cermet Cr-SiO exceden el rango metálico pero son más bajos que los informados para películas metálicas discontinuas^{8,10}

La difracción de electrones mostró que la película de cermet está compuesta por Cr₃Si y Cr en una matriz de SiO₂.

Los valores hallados para la resistencia laminar y el coeficiente térmico de resistencia pueden interpretarse considerando que la conducción eléctrica tiene lugar por dos mecanismos: conducción metálica normal a través de islas interconectadas y conducción por efecto túnel activado entre islas discretas. Este modelo también justifica que los valores obtenidos para el factor extensométrico sean menores que los informados para películas discontinuas¹¹⁻¹²

El trabajo continúa para optimizar los parámetros de depósito con el objeto de promover la conducción por efecto túnel para aumentar el valor del factor extensométrico.

Referencias

- 1 - R.L.Parker and A.Krinsky, J.Appl.Phys., 34, 2700-2708 (1963).
- 2 - Z.H.Meiksin and R.A.Hudzinski, J.Appl.Phys., 38, 4490-4494 (1967).
- 3 - Z.H.Meiksin et al., Thin Solid Films, 12, 85-88 (1972).
- 4 - R.Glang, R.A.Holmwood and S.R.Herd, J.Vac.Sci.Technol., 4, 163-170 (1967).
- 5 - E.Schabowska and A.Porada, Thin Solid Films, 93, L73-L76 (1982).
- 6 - E.Schabowska and R.Scigala, Thin Solid Films, 135, 149-156 (1986).
- 7 - K.Rajana and S.Mohan, Phys.Stat.Sol.(a), 105, K181 (1988).
- 8 - T.J.Couts in "Electrical Conduction in Thin Metal Films", Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam (1974).
- 9 - M.Milosavljevic, T.Nenanodic, N.Bibic and T.Dimitrijevic, Thin Solid Films, 95, 167-178 (1983).
- 10 - K.Rajana and S.Mohan, Sensors and Actuators, 15, 297-303 (1988).
- 11 - S.Trap, H.Fuchs and G.Gleiter, Thin Solid Films, 137, 43-46 (1986).
- 12 - M.Neuman and W.Sutton, J.Vac.Sci.Technol., 6, 710-713 (1969).