

Microsensor de fuerza en LTCC

Roberti, M.⁽ⁱ⁾; Fraigi, L.⁽ⁱ⁾; Gongora-Rubio, M.R.⁽ⁱⁱ⁾

⁽ⁱ⁾ INTI – Electrónica e Informática

⁽ⁱⁱ⁾ Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – São Paulo – Brasil

Introducción

Los sensores de fuerza son usados por la industria y los laboratorios para tener una medida del peso (masar). Generalmente están constituidos por un material sensible (strain sensor) pegado a un elemento elástico. El sensor traduce en señal eléctrica las deformaciones producidas en el elemento elástico en forma proporcional a la fuerza aplicada al mismo. El presente trabajo describe los diferentes métodos de fabricación de un microsensor de fuerza basado en Tecnología de cerámicas de baja temperatura de sinterizado (Low Temperature Co-fired Ceramics – LTCC) y los resultados de los prototipos fabricados. La Tecnología LTCC combinada con la Tecnología de película gruesa (Thick Film Technology) nos provee una gran versatilidad, bajo costo y tiempos relativamente cortos (del orden de semanas) a la hora de diseñar y fabricar dispositivos prototipos multicapa de cerámica^[1-5].

Se propone una nueva estructura para funcionar en modo compresivo de bajo costo. La estructura del microsensor consiste en varias capas de LTCC micromaquinadas con un Control Numérico Computarizado (CNC), un contacto eléctrico superior y otro inferior y entre ellos un poste resistivo rodeado de material de sacrificio.

Sensores de fuerza resistivos

Un resistor bajo tensión (stress) sufre deformaciones en sus dimensiones y modificaciones de su conductividad como resultado de cambios microestructurales evidenciando variaciones de resistencia. El factor de calibración o Gage Factor (GF) de estos resistores se define (1) como el cociente entre el cambio relativo de la resistencia ($\Delta R/R$) y la tensión (strain) aplicada ($\Delta l/l$).

$$GF = (\Delta R / R) / (\Delta L / L) \quad (1)$$

En general las pastas resistivas de película gruesa tienen un GF de 9-20^[5], este es mucho

mayor que el GF de las pastas conductoras de película gruesa utilizadas para los contactos.

De las distintas geometrías para implementar resistencias de película gruesa (Fig. 1) con estructuras tipo: (a) planar, (b) vertical, (c) vertical contenida por dieléctrico, (d) vertical sin contenedor, se elige la última para sensar fuerzas en la dirección del eje Z. La resistencia de las estructuras verticales puede obtenerse de (2):

$$R = \rho \cdot \left(\frac{z}{x \cdot y} \right) \quad (2)$$

Con ρ = resistencia de la película gruesa, z = espesor de la resistencia y (x) e (y) las dimensiones laterales.

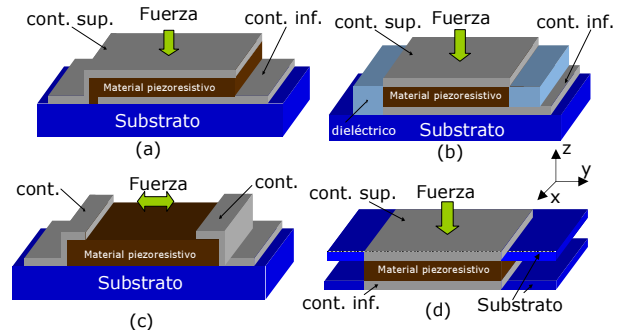


Fig. 1: Estructuras de sensores de película gruesa.

La Fig. 1(a) muestra un típico sensor de fuerza de Tecnología planar de película gruesa^[6,7] el cual depende de la deformación del sustrato, con lo cual la medición es indirecta. Proponemos medir la fuerza con estructuras verticales midiendo en la dirección del eje Z ya que estos presentan un mayor GF, buena estabilidad con las variaciones de temperatura y una medición directa^[8-10]. Con la estructura de la Fig. 1(c) se puede obtener^[10] un elevada vacación de ($\Delta l/l$).

Otra estructura del tipo vertical con tecnología de película gruesa contenida por dieléctrico (ver Fig. 1(b)) presenta una resistencias del orden de 2,5 kOhms y una sensibilidad ($\Delta R/R$) de 1,3% cuando esta somete a una presión de 6 bar^[11].

La estructura de la Fig. 1(d) muestra el layout propuesto para fabricar el microsensor de fuerza en LTCC, en el cual luego de su fabricación, el poste resistivo de película gruesa queda sin ningún contenedor.

Diseño del Sensor

Se busca la medición directa de la fuerza aplicada en forma compresiva que nos permite la descomposición vectorial de la misma. La Fig. 2 muestra un esquema del microsensor de fuerza.

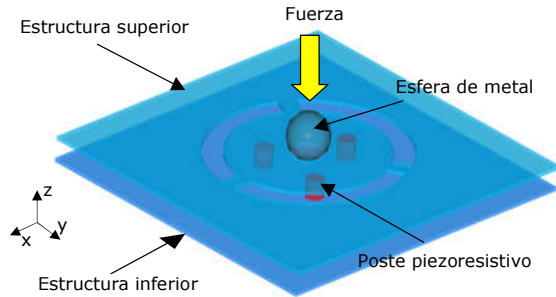


Fig. 2. Layout del microsensor de fuerza

La fuerza es aplicada por una esfera metálica o cerámica, cada microsensor contiene 3 postes resistivos separados 120° entre si. La parte superior de cada poste esta anclada a una única estructura cerámica de LTCC sobre la que apoya la esfera recibiendo cada poste 1/3 de la fuerza aplicada.

La variación relativa de la elongación en la dirección del eje z de cada poste (ϵ_z) esta dada por (3):

$$\epsilon_z = \frac{\Delta z}{z} = \frac{1}{E} \cdot \frac{4 \cdot F_z}{\pi \cdot d^2} \quad (3)$$

Con E: Modulo de Young (material piezoresistivo), F_z : Fuerza en la dirección Z y d: diámetro del poste.

La variación de resistencia de cada poste puede obtenerse de (4):

$$\frac{\Delta R}{R} = GF \cdot \epsilon_z = GF \cdot \frac{1}{E} \cdot \frac{4 \cdot F_z}{\pi \cdot d^2} \quad (4)$$

La estructura propuesta en la Fig. 2 fue simulada usando COSMOS-designstar para cargas estáticas. En la Fig. 3 se puede ver la deformación del sensor y la transferencia de la fuerza a cada poste suponiendo indeformable la esfera.

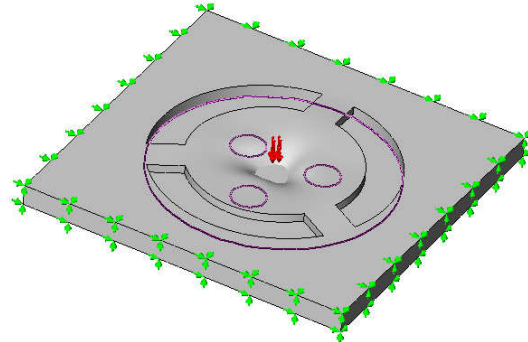


Fig. 3 Simulación del microsensor bajo fuerza.

Materiales

Para la implantación del microsensor se utilizo la Tecnología de LTCC combinada con de película gruesa la cual provee una adecuada estructura, contactos eléctricos y resistencias de manera sencilla, con un bajo costo y de tiempos tales como los de prototipeado rápido comparada con otras Tecnologías.

Las propiedades mecánicas del LTCC utilizado, Green Tape 951 de Dupont, después de sinterizado son: modulo de Young 152 GPa, relación de Poisson 0,17 y densidad 3,1 g/cm³.

Los tres pasos básicos para trabajar con las láminas de cerámicas en estado verde (llamadas así antes de ser sinterizadas) son:

- i) Deposición del layout diseñado, incluyendo: vías; agujeros; pastas resistivas, conductoras, o dieléctricas dependiendo de la aplicación;
- ii) Alineación y laminación aplicando presión y temperatura;
- iii) Sinterizado del material.

Los compuestos de LTCC son susceptibles a la deformación plástica durante la laminación o deformación permanente en el momento que se llega a la temperatura de transición del vidrio, en estructuras con cavidades enterradas, por ello se debe prevenir la deformación de una cavidad suspendida durante la laminación y también en su sinterizado.

Los trabajos reportados [2] con técnicas de fabricación usando materiales de sacrificio son apropiados para evitar las deformaciones de los dispositivos con cavidades grandes y enterradas. Dos tipos de materiales comerciales fueron probados buscando compatibilidad con las cerámicas LTCC: (a) laminas de carbón de alta pureza y (b) pequeñas esferas (ZrO_2 y Al_2O_3) pegadas con un material orgánico formando una delgada lamina uniforme^[12].

Fabricación

Se fabricaron dos variantes del microsensar prototipo, uno con sus contactos enterrados dentro de la estructura y otro con sus contactos en el exterior.

El primero (ver Fig. 4) cuenta con seis capas de LTCC (DuPont 951AX). Las tres primeras capas (C1-C3) usadas como base fueron laminadas con sus contactos en la parte superior. La siguiente capa (C4) con una cavidad circular para alojar el material de sacrificio y las últimas dos capas (C5-C6) laminadas con los contactos por debajo. El material de sacrificio encaja dentro de la cavidad (C4) y cuenta con tres agujeros, que servirán como contenedor de la pasta resistiva de película gruesa para formar el poste.

Para simplificar las conexiones eléctricas evitando las vías, se fresaron las capas (C5 y C3) hacia el exterior para alojar los contactos, hechos con la pasta de plata (6146 de DuPont),

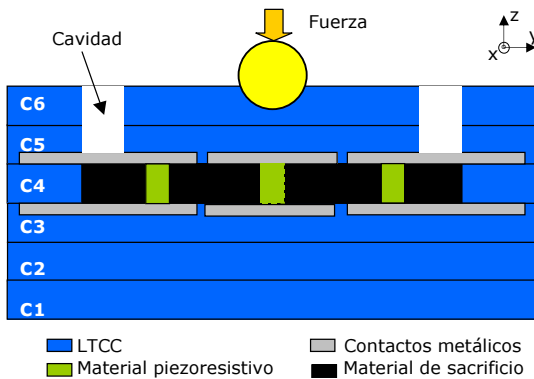
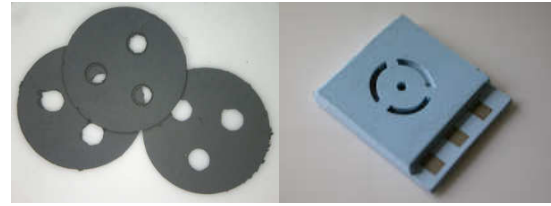


Fig. 4. Implementación con contactos internos.

logrando un sensor de 11x11 mm incluyendo los contactos. Cada capa fue micromáquina con un CNC usando fresas de 250 μ m a 1 mm de diámetro. El material de sacrificio (TCS-CARB-1 de Harmonics Inc.^[12]) de 200 μ m de espesor, micromáquina con tres agujeros de 1 mm de diámetro se puede ver en la Fig. 5(a).



(a) (b)

Fig 5. (a) Material de sacrificio, carbono (b) sensor individualizado después del laminado, listo para sinterizar.

Las capas (C5 y C6) tienen 3 cavidades que permiten la salida del CO_2 producto del sinterizado de sensor con el material de sacrificio usado.

Las piezoresistencias se obtuvieron depositando distintas pastas mediante impresión serigráfica (screen printing). Se probaron pastas comerciales de la familia QS de Dupont de 1 KOHms/sq, 10 KOHms/sq y 100 KOHms/sq, obteniendo los mejores resultados de valor y forma con la de 10 KOHms/sq.

El conjunto de las capas (C1 a C6) incluyendo el material de sacrificio con los poste resistivos dentro de (C4) fue alineado y laminado a 100 $^{\circ}C$ 85 kgf/cm² durante 20 minutos obteniendo el dispositivos como muestra la Fig. 5(b).

Luego los sensores fueron sinterizados utilizando un perfil de temperatura modificado cambiando la atmósfera a aire/nitrógeno.

El segundo prototipo con los contactos externos (ver Fig. 6) consta también de seis capas de LTCC, Las tres primeras capas (C1-C3) usadas como base fueron laminadas con sus contactos en la parte inferior. La siguiente capa (C4) con una cavidad circular para alojar el material de sacrificio y las últimas dos capas (C5-C6) laminadas con los contactos en la parte superior.

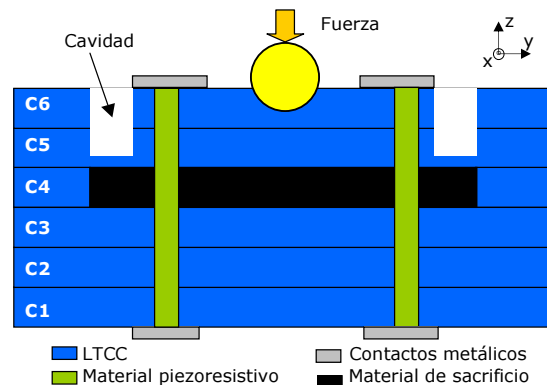


Fig. 6. Implementación con contactos externos.

El material de sacrificio encaja dentro de la cavidad (C4) y se coloca sin los agujeros,

usando en este caso laminas de Setter Powder Sheet (SPS) ó Ceramic Powder Linear (CPL) de Harmonics Inc^[12].

En este prototipo se alinearon todas las capas con los contactos serigrafiados y con las dos laminas de material de sacrificio en la cavidad de la capa (C4), se perforo de lado a lado y se lleno el poste con la pasta resistiva de película gruesa previamente tratada, se completaron los contactos y se sinterizo. Las cavidades en (C5 y C6) permiten sacar el material remante de sacrificio.

La Fig. 7 muestra los tres postes obtenidos al quebrar las capas (C5 y C6).



Fig. 7. Fabricación del sensor con contactos externos.

Resultados experimentales

La caracterización de los dispositivos fabricados fue hecha mediante la aplicación de carga estática sobre el sensor, un acondicionador de señal y un sistema de adquisición de datos conectado a una PC para su posterior análisis. Antes de hacerle los últimos ajustes al sensor decidimos probar el comportamiento de un solo poste resistivo a modo de tener una estructura de pruebas (ver Fig. 8) con los mismos pasos del proceso de fabricación del segundo prototipo excepto el método de obtención del poste. En este caso, el poste resistivo se obtiene compactando el polvo y no la pasta resistiva, obteniendo pellet cilíndrico que se implanta en el agujero de las capas (C1 a C6).

Para este prototipo se utilizaron dos SPS de 0,001 pulgadas de espesor de Al_2O_3 como material de sacrificio. Para mejorar los contactos eléctricos y la planicidad de la base se agregaron las capas (C0 y C7). Se agrego la capa (C8) para ubicar el punto central en donde se aplicara la fuerza, quedando de 5x5 mm con contactos incluidos. Este ultimo dispositivo presento mejor forma y estructura del pote, no se deformaron las capas (C5 a C8) debido a un apropiado uso del material de sacrificio, buen método de obtención de los postes resistivos y mejores contactos eléctricos probado en ciclos prolongados de fuerza aplicada. El valor del poste resistivo (R_0) @ 25 °C y sin carga fue de 1,3 KOhms.

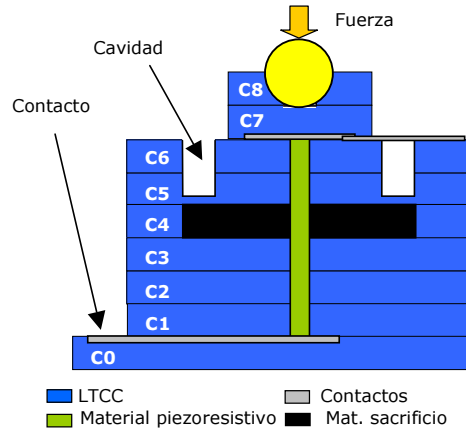


Fig. 8. Estructura de prueba para un poste.

Se evaluó la variación de resistencia de la estructura de pruebas (sin carga mecánica) mostrando buena estabilidad (menor al 1% R_0) en el rango de 25°C a 85°C.

La estructura fue cargada de 0 a 15 N usando un equipo de calibración marca INSTRON. El desplazamiento Δl fue caracterizado con un laser y la resistencia con un Keithly 2000. Los resultados de la caracterización (ver Fig. 9) de la variación de resistencia en función de fuerza aplicada de dos sensores prototipos (estructura de pruebas - un solo poste) y la variación de la estructura en el sentido del eje Z (ΔL) también en función de la fuerza aplicada.

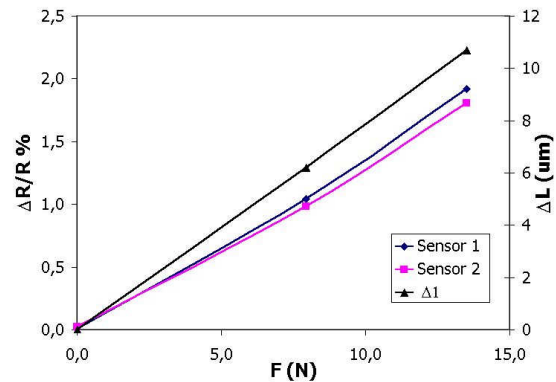


Fig. 9. Estructura de pruebas caracterizada.

Conclusiones

La Tecnología de LTCC provee la posibilidad de obtener microsensors del tipo de compresión en el eje Z capaz de ser utilizados como celdas de carga. Se presentaron varios métodos de fabricación del microsensor de fuerza y se

desarrollo y optimizó un método para la obtención de postes piezoresistivos.

Los sensores fabricados presentan: cavidades enterradas grandes sin deformaciones, postes piezoresistivos con buena relación de aspecto, contactos eléctricos resistentes a ciclos prolongados de pruebas bajo carga, repetibilidad en el proceso de fabricación y bajo corrimiento de la resistencia con la temperatura.

Mediciones en distintos rangos de fuerza y dependencia de la temperatura bajo carga están en progreso.

Referencias

- [1] M. R. Gongora-Rubio, P. Espinoza-Vallejos, L. Sola-Laguna and J. J. Santiago-Aviles; "Overview of Low Temperature Co-Fired Ceramics Tape Technology for Meso-System Technology"; *Sensors & Actuators A, Physical*; v. 89, 2001, pp. 222 - 241.
- [2] Peterson K.A., Rohde S. D. Walker C.A., Patel K.D., Tuner T.S. and Norquist C.D., *Microsystem integration with new techniques in LTCC*, Proc. of Ceram. Intercon. Tech. Conf., IMAPS, Denver (2004) 19-26
- [3] Peterson K. A., Patel K. D., Ho C. K., Rohde S. B., Nordquist C. D., Walker C. A., Wroblewski B. D. and Okandan M.; *Novel Microsystem Applications with New Techniques in Low-Temperature Co-Fired Ceramics*; *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2 [5] 345-363 (2005)
- [4] L.J. Golonka, K.-J. Wolter, A. Dziedzic, J. Kita & L. Rebenklau; *Embedded passive components for MCM*; *24th International Spring Seminar on Electronics Technology*, Calimanesti-Caciulata, Romania, May 5-9, 2001, pp. 73-77.
- [5] Hrovat M., Belavic D., Samardzija Z.; *Characterisation of thick film resistor series for strain sensors*; *Journal of the European Ceramic Society* 21 (2001) 2001-2004
- [6] M. Prudenziati (Ed.) *Handbook of sensors and actuators 1: Thick film sensors*, Elsevier 1994.
- [7] White N. M. and Brignell J. E.; *A Planar Thick-film Load Cell*; *Sensors and Actuators A*, 25-27(1991) 313-319
- [8] Puers B., Sansen W. & Paszczynski S.; *Assesment of thick film fabrication methods for force (pressure) sensors*; *Sensors and Actuators*, Volume 12, Issue 1, July 1987, pp 57-76.
- [9] Puers, B., Sansen, W, Paszczynski, S and Leuven, K. U., *Miniature highly sensitive pressure- force sensor using hybrid technology*. In *Proceedings 6th European Microelectronics Conference*, ed. B. Turnbull. ISHM Europe, London, 1987, pp. 416-420.
- [10] Zheng Y., Atkinson J., Zhang Z. & Sion R.; *An evaluation of materials and processes employed in the construction of novel thick film force sensors*; *Microelectronics International* 20/ 1 [2003] 31-33.
- [11] Belavic D., Hrovat M., Pavlin M. *Vertical thick-film resistors as load sensors*; *Journal of the European Ceramic Society* 21 (2001) p.1989-1992
- [12] Harmonics Inc. Web:
<http://www.harmonicsmaterials.com/>

Para mayor información contactarse con:
Mariano Roberti – mariano@inti.gov.ar