ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/235747601

Resonador sensor de masa: desarrollo y métodos de medición

Article *in* Superficies y Vacio · September 2010

CITATIONS
0

READS
78

8 authors, including:

W. Calleja
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)
94 PUBLICATIONS **245** CITATIONS

SEE PROFILE

Gabriel Romero-Paredes
Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute
52 PUBLICATIONS **221** CITATIONS

SEE PROFILE

Miguel Aurelio Duarte-Villaseñor
Tijuana Institute of Technology
38 PUBLICATIONS **260** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project Nanostructured semiconductor oxide surface for the sensing and use of carbon dioxide. View project

Project TALLER NACIONAL DE MEMS. Aplicaciones en Ingenierìa Biomèdica View project

All content following this page was uploaded by Miguel Aurelio Duarte-Villaseñor on 23 October 2014.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Resonador sensor de masa: desarrollo y métodos de medición

Salvador Alcántara I., B. Susana Soto C.
CIDS-ICUAP

Jesús Perez R.
CCADT-UNAM

S. Wilfrido Calleja A.
INAOE

Gabriel Romero-Paredes R.
CINVESTAV-IPN

Margarita Galindo M. , Miguel Duarte V.
FCE-BUAP
(Recibido: 29 de septiembre de 2009; Aceptado: 29 de julio de 2010)

Un resonador mecánico tipo trampolín es una estructura sencilla con la que se logra la detección de masa a partir de cambios de frecuencia de resonancia. Es posible fabricar este tipo de detector con técnicas de microelectrónica, lo cual lo convierte en un potencial sensor para ser integrado con el circuito de acondicionamiento y ser usado en aplicaciones químicas o biológicas. El desempeño de estos sensores dependerá de sus dimensiones, del tipo de material, de la eficacia de excitación y de la exacta transducción de la amplitud de desplazamiento del resonador. En este trabajo se presenta el proceso para la obtención de trampolines de silicio de 100x20x15μm, fabricados con tecnología planar y técnicas de micromaquinado en espesor. Se describe el método de caracterización de trampolines en frecuencia y amplitud mediante un programa y adquisición de datos en PC y un sensor de IR reflectivo, con resolución del orden de Hz y μm. Ambos métodos pueden ser útiles en las mediciones de los trampolines de silicio para la detección de masa de materiales depositados o adsorbidos en la superficie con resolución de μg.

Palabras Clave: Resonador; Trampolín; Resonancia; Sensor; Masa; Microelectrónica; Micromaquinado en espesor

The cantilevers are one of the most simple mechanical resonator structure used to detect a mass variations from its resonance frequency. In microelectronic field, is possible to fabricate this kind of detector with the whole electronic circuit on the same substrate, extending the applications even in biological and chemical environment. The performance of these sensors depends of its dimensions, material, excitation electronic stage, and displacement amplitude. In this work, we present the fabrication process to obtain a sensor with dimensions of 100X20X15μm from silicon semiconductor technology and bulk micromachining techniques. Also, we describe the characterization method through a Matlab data acquisition system and IR sensors, in order to obtain the frequency resonance and amplitude of these cantilevers with resolutions of Hz and μm respectively. The results obtained show that the methods proposed are useful to detect mass variations from deposited films or adsorbed materials on these silicon cantilevers in orders to μg.

Keywords: resonator, Cantelever; Resonance; Sensor; Mass; Microelectronic; Bulk micromachining

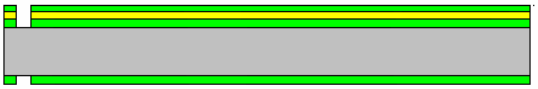
1. Introducción

Una placa rectangular delgada, sujeta en uno de sus extremos, es un trampolín resonador mecánico con el que se logra la detección de masa a partir de los cambios de frecuencia de resonancia. La fabricación de estas estructuras con técnicas de microelectrónica permite su obtención con dimensiones del orden de micras. En este trabajo se presenta el proceso para la obtención de estas estructuras en silicio, y se describen los métodos empleados para la detección de masa agregada en la superficie de trampolines mediante la medición de la diferencia de frecuencias de resonancia con y sin masa agregada. Estas estructuras son útiles para aplicaciones en biosensores con resolución del orden molecular, [1-3], o para detectar anticuerpos [4], lo cual dependerá de las dimensiones del trampolín y de la eficiencia de excitación y detección de la frecuencia o desplazamiento de la estructura.

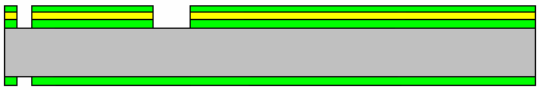
2. Proceso de fabricación

Se parte de obleas tipo N, pulidas en ambas caras, orientación (100), resistividad ρ = 14 Ω-cm, espesor entre 250 a 260μm. Las etapas tecnológicas, ver figura 1 y 2, son las siguientes:

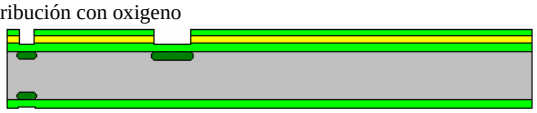
[v]salvador@siu.buap.mx



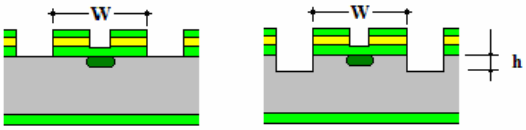
M2 Fotograbado ventanas para difusión de boro Cara A: Grabado en óxido depositado. Grabado en nitruro de silicio. Grabado en óxido térmico



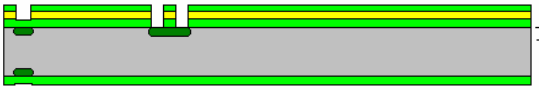
Difusión atómica: Depósito de boro. Remoción de fuente. Distribución con oxigeno



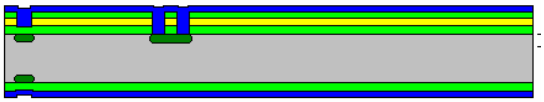
M3 Fotograbado para definir trampolines Cara A: Grabado en óxido depositado. Grabado en nitruro de silicio. Grabado en óxido térmico. Micromaquinado inicial breve 1 a 15 µm, (vista por el extremo libre)



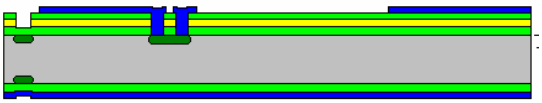
M4 Fotograbado zonas de contacto, Cara A: Grabado en óxido depositado. Grabado en nitruro de silicio. Grabado en óxido térmico



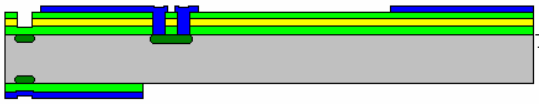
Metalizado aluminio en cara A, cromo en cara B



M5 Fotograbado de aluminio para pistas y contactos



M6 Fotograbado de en cara B: Grabado de cromo. Grabado en óxido térmico



Micromaquinado profundo en espesor

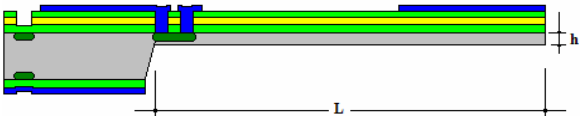


Figura 1. Esquemas de las etapas del proceso.

Oxidación térmica (1.2 µm) ambas caras A y B
Depósito de Nitruro de Silicio (LPCVD), cara A
Oxido depositado (LPCV). Cara A

M1A-M1B, Fotograbado de marcas de alineación en ambas caras: Grabado en óxido depositado; Grabado en nitruro de silicio; Grabado en óxido térmico ambas caras.

3. Comportamiento Mecánico

Los parámetros que determinan el comportamiento mecánico son: el desplazamiento estático y o dinámico $y_{(t)}$, la respuesta a la frecuencia, factor de calidad Q, el transitorio, el esfuerzo y la deformación; estos son dependientes de las dimensiones, de la placa, de las características elásticas del material, de las condiciones de frontera y amortiguamiento. Del análisis equivalente al comportamiento de un sistema mecánico resonador amortiguado forzado, y de acuerdo al momento de inercia del área de la palanca, la frecuencia de resonancia queda expresada como la Ec. 1, [5-7].

$$f_{res} = 0.1604 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot \left(1-\nu^2\right)}{\rho}} \cdot \left(\frac{h}{l^2}\right) \qquad (1)$$

De la diferencia de frecuencias Δf_o, antes y después de una adsorción de material (figura 3), se puede deducir un incremento de masa con la expresión de la Ec 2:

$$\Delta m = 0.0261 \cdot E \cdot (1-\nu^2) \frac{w \cdot h^3}{l^3} \left(\frac{1}{f_o'^2} - \frac{1}{f_o^2} \right) \qquad (2)$$

donde: E es la constante de elasticidad del material, ν la razón de Poisson y ρ la densidad volumétrica del material; h el espesor; w el ancho y l la longitud de la placa [8]. Para una mayor resolución de masa, es importante poder resolver gradientes de frecuencia del orden de Hertz, porque esto permite medir nanogramos. Para esto es necesario utilizar algún medio para detectar la magnitud de su desplazamiento estático o dinámico. Los transductores piezoeléctrico pueden ser ambos, excitadores y detectores; otra forma es el principio de reflectividad del IR, este resulta un excelente medio para medir desplazamiento dinámico o estático del orden de nanómetros.

4. Medición de frecuencia de resonancia

La excitación y medición eléctrica del comportamiento del trampolín se facilita mucho cuando se trata de la transducción piezoeléctrica. Para demostrar el principio de medición de masa, se utiliza como trampolín un transductor cerámico PZT, de longitud l=6mm, ancho w=1.5mm y espesor h=0.55mm, cuyo modulo de Young es E=8.3x10^{10}Pa y Razón de Poisson ν= 0.32 y densidad volumétrica ρ = 7700 Kg/m^3. Con el depósito de la película

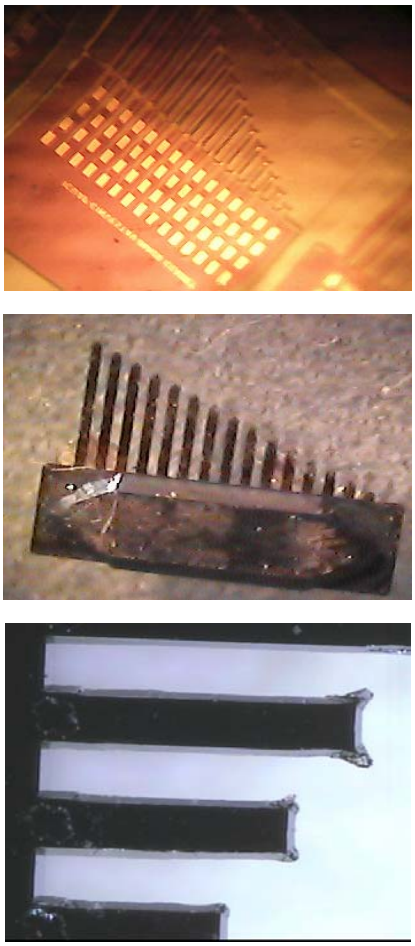


Figura 2. Fotografías de los trampolines obtenidos, el mas grande es de 1700µm y el mas pequeño de 400µm, el ancho es de 100µm y el espesor de 25µm de todos.

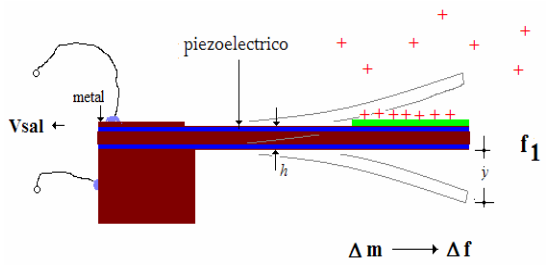


Figura 3. Esquema de trampolín con película adsorbente depositada en la superficie.

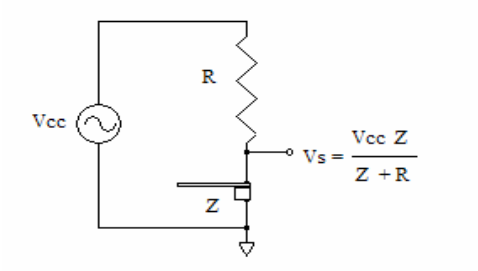


Figura 4. Circuito para medición.

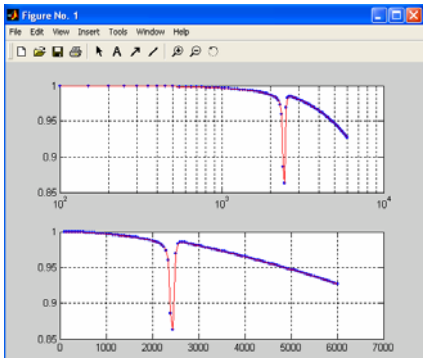


Figura 5. Primer barrido con el programa.

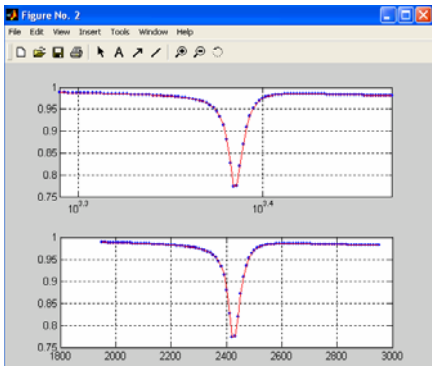


Figura 6. Segundo barrido.

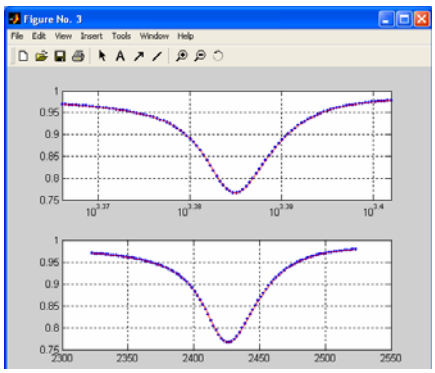


Figura 7. Tercer barrido.

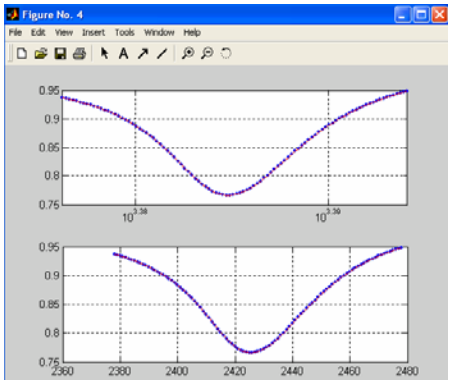


Figura 8. Cuarto barrido.

sobre la superficie del trampolín, se induce una modificación en la frecuencia del trampolín de 20 Hz (f_0=6.294K Hz, f_0'=6.274K Hz). Aplicando la ecuación 2), resulta una masa adicional de 129.8ng

Un método de medición consiste en la medición en un osciloscopio donde podamos retener la gráfica, de la respuesta transitoria a un estímulo escalón, mecánico o eléctrico del trampolín piezoeléctrico. La transformada de Fourier o la medición directa de la frecuencia en el osciloscopio representa la frecuencia propia, o más bien, amortiguada o resonante. Con esta medición se puede saber también el factor de amortiguamiento a través del tiempo de decaimiento.

El método de medición de la frecuencia de resonancia utilizado, fue a través de un arreglo divisor entre una resistencia conocida y el transductor; este se excita con un voltaje alterno como se muestra en la figura 4; conocidas R y el voltaje de entrada, se deduce la impedancia Z del transductor desde el voltaje de salida V_s del divisor; la frecuencia donde la impedancia se hace mínima es la frecuencia de resonancia, como se indica en las figuras 5 a 8. Con ayuda de la PC, através de la tarjeta de sonido, con un programa, se genera el barrido la señal de excitación y se adquiere el voltaje de salida del circuito a través de una tarjeta comercial de adquisición. Con otro programa se hace un barrido en frecuencia con pasos amplios en un rango relativamente grande calculando y graficando la impedancia. El programa es iterativo y reduce los intervalos y el rango de barrido tres veces mas sucesivamente, con el fin de ir acotando el intervalo de interés alrededor de la frecuencia de resonancia, en el mínimo de amplitud encontrado desde el primer barrido [9].

La figura 5 obtenida con un programa donde el barrido es de 101 Hz a 6001 Hz, en saltos de 50 Hz, la frecuencia de resonancia encontrada en el trampolín piezoeléctrico es de 2451 Hz.

En la figura 6 del programa, el barrido es de 1952 Hz a 2952 Hz con saltos de 10 Hz, la frecuencia de resonancia mostrada es de 2422 Hz.

La figura 7 muestra el barrido de 2323 Hertz a 2523 Hertz en saltos de 2 Hertz, la frecuencia de resonancia esta en 2427.

Por último en la figura 8 se muestra el barrido del programa de 2378 Hz a 2478 Hz, en saltos de 1 Hz, finalmente la frecuencia de resonancia se encuentra en 2425 Hz.

5. Medición del desplazamiento estático

Existen varios métodos para la medición de este desplazamiento; una es por transducción tipo condensador, este se forma entre la placa que representa la película conductora en el trampolín y otra en el sustrato fijo por debajo de este, en la placa del trampolín libre. Al desplazarse esta se presenta un cambio de capacitancia entre las placas, figura 8.

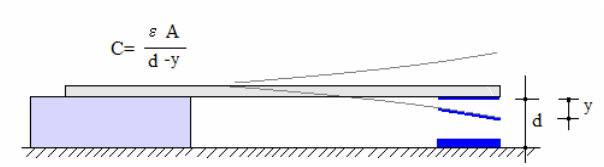


Figura 9. Esquema de la transducción por condensador.

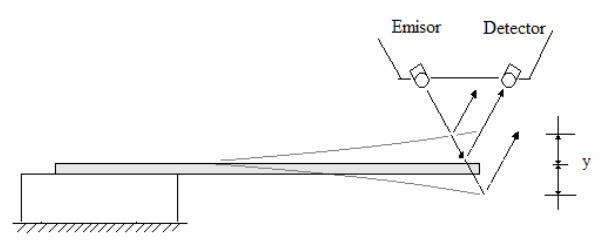


Figura 10. Desplazamiento del extremo libre produce modulación de la intensidad en el fotodetector.

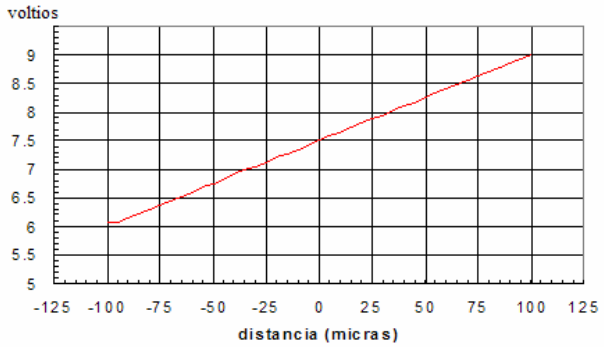


Figura 11. Corriente de colector normalizada contra desplazamiento en μm.

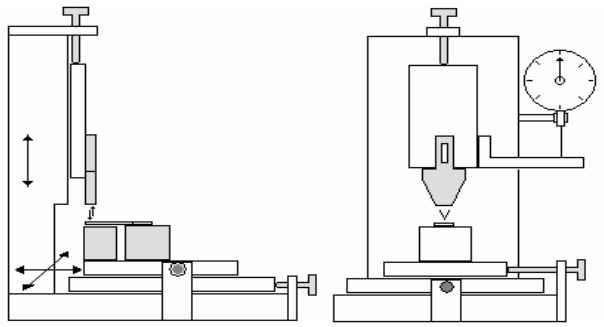


Figura 12. Dispositivo de medición optoelectrónico de medición de masa por la variación de frecuencia en un trampolín cerámico piezoeléctrico PZT.

Este método se utiliza principalmente cuando se fabrican los trampolines con micromaquinado superficial (figura 9), puesto que es necesario un espacio muy pequeño entre placas, del orden de 2 μm, lo cual implica cierta dificultad tecnológica; por otro lado, la capacitancia es del orden de unos cuantos pF y esto obliga a la integración de un circuito electrónico de lectura.

La transducción de desplazamiento por medios optoelectrónicos es la más sencilla, y de entre todos los arreglos posibles, el más usual es por medio del sensor reflectivo. Este sensor consiste de un diodo emisor infrarrojo y un fototransistor NPN, ambos apuntando en ángulo a un mismo punto (~2.0mm) posicionado en la placa libre del trampolín. La corriente del fototransistor se produce con el haz del emisor infrarrojo, reflejado desde la placa libre, entonces el desplazamiento de esta modifica el ángulo del haz, lo cual modula la intensidad incidente en el detector, figura 10.

La grafica de respuesta del sensor con la distancia se muestra en la figura 11. Desde esta gráfica se obtiene el desplazamiento en función de la salida eléctrica del sensor; la amplificación de la salida incrementa la resolución del sensor a niveles de orden de nanómetros. En la figura 12, se muestra el dispositivo mecánico para la calibración del sensor reflectivo con un micrómetro marca Mitutoyo No 2199-10, rango 1 a 1000μm.

6. Conclusiones

Se obtuvieron trampolines de 400 a 1700μm de longitud sujetos a un bastidor con técnicas de microelectrónica y micromaquinado en espesor.

Sin embargo los trampolines con estas dimensiones fueron muy complicados de utilizar, por eso solo se comprobó el principio

Se utilizo un programa para medir con la PC la frecuencia de resonancia con resolución de Hz, útil para resoluciones de nanogramos de masa. Se desarrolló un método de medición de desplazamiento del orden de micras y posiblemente nanómetros con amplificación, para mediciones estáticas o dinámicas.

Referencias

[1]. Hai-Feng Ji, K. M. Hansen, Z. Hu, T. Thundat, Detection of pH variation using modified microcantilever sensors, Sensor& Actuators, B **72**, 233 (2001).

[2]. Raiteri R, Grattarola M., Hans-Jügen B, Petr S, Mricromechanical cantilever-based biosensors, 10 May, Elseiver,115-126 (2001).

[3]. B. Ilic, D. Czaplewski, M. Zalalutdinov, H. G. Craighead, P. Neuzil, C. Campagnolo, C. Batt, Single cell detection with micromechanical oscillators, J. Vac. Sci. & Techn. B: Microelectronics and Nanometer Structures, **19**, 2825 (2001).

[4]. C Grogn, R. Rateri, G. M. O'Connor, T. J. Glynn, V. Cunningham, M Kane, M. Charlton, and D Leech, Characterisation of an antibody coated microcantilever as a potential immuno-based biosensor, Sensors & Actuators B, **17**, 201 (2002).

[5]. H. H. Bau, N.F. de Rooji, B. Kloeck, Sensors, Mechanical Sensors, VCH, **7**, 206 (1996).

[6]. Fraden J., Handbook of Modern Sensors, Springer, pag. 144-145, 1996

[7]. S.M.Sze, Semiconductor Sensors,Wiley-Interscience Publication, (New York,1994).

[8]. Nickolay V. Lavrik, Panos G. Datskos, Appl. Physics Letters, **82**, 16, (2003).

[9]. Miguel Aurelio Duarte Villaseñor, "Sistema de Medición Automático para Caracterización de Microestructuras", Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias de la Electrónica, BUAP, 2006

View publication stats