

# DISPOSITIVO MEMS PARA DETECCIÓN DE VIBRACIONES DÉBILES EN APLICACIONES GEOFÍSICAS

P. N. Granell, F. Golmar  
INTI - Micro y Nanoelectrónica del Bicentenario  
pgranell@inti.gov.ar

## Introducción

En ciertas aplicaciones geofísicas que involucran la prospección de suelos, tales como la identificación de reservorios de petróleo, es necesaria la detección de vibraciones de baja intensidad (del orden de  $100 \mu g$ , donde  $g$  es la aceleración gravitatoria). En ese tipo de estudios, las vibraciones son inducidas artificialmente y se propagan a través del suelo, generando reflexiones que son recolectadas por un arreglo de sensores dispuestos en la superficie. En este trabajo se presenta un sensor de vibraciones basado en tecnología MEMS (sistema micro- electro- mecánico) de silicio, optimizado para la detección de vibraciones débiles y de baja frecuencia. La propuesta surgió a partir del requerimiento de una empresa dedicada al estudio de prospección de suelos, y la fabricación de los prototipos fue financiada a través de un proyecto Nanopymes PRIS.

## Objetivo

Diseñar y fabricar un prototipo de acelerómetro capacitivo MEMS, capaz de detectar vibraciones entre 0 y 250 Hz e intensidades mínimas del orden de  $0.5 \text{ m/s}^2$ .

Realizar la caracterización eléctrica de los prototipos fabricados, tanto a nivel de laboratorio como en campo.

## Descripción

El sensor es un dispositivo electromecánico a escala micrométrica, que consiste en un sistema masa-resorte, donde el movimiento de la masa modifica la separación entre las placas de una estructura capacitiva. Es decir, hay una variación de capacidad que es función de la aceleración de la masa inercial. Esta funcionalidad puede implementarse prácticamente sobre una estructura monolítica de silicio cristalino. Para el diseño del acelerómetro, se optó por una estructura de silicio suspendida (masa inercial) mediante cuatro resortes (Fig.1). A ambos lados de la masa inercial se dispuso un arreglo de electrodos tipo peine. Estos electrodos móviles, junto a otro arreglo de electrodos fijos, conforman un conjunto de capacitores variables conectados en paralelo. Finalmente, midiendo

las variaciones de capacidad podrá determinarse la aceleración a la que está sometida el dispositivo.

Mediante cálculos teóricos, se determinaron las dimensiones de la estructura a los efectos de cumplir con las especificaciones requeridas. Se utilizó un software de simulación numérica (ANSYS) para verificar algunos parámetros relevantes, tales como la frecuencia de resonancia o la curva de desplazamiento en función de la aceleración externa.



Figura 1: Imagen de microscopio óptico del diseño 'A'. Se observa una parte de la estructura.

La fabricación de los prototipos se realizó a través de un servicio de fabricación multiproyecto (Europractice). Para ello fue necesario proveer al fabricante el diseño de las máscaras involucradas en el proceso. Las mismas definen las dimensiones de la estructura a realizar y deben ajustarse a las reglas de diseño establecidas por el fabricante, de forma de garantizar la integridad de los dispositivos durante la fabricación.

El proceso se realiza sobre un sustrato tipo SOI (silicio sobre aislante), que permite obtener estructuras suspendidas como la que se requiere en este caso. De acuerdo a las especificaciones del fabricante, se disponía de un área de silicio de  $(11 \times 11) \text{ mm}^2$ . Por lo tanto se incluyeron dos diseños en la misma área para poder comparar su desempeño (Fig.2). El diseño 'A' establece una separación entre electrodos de  $3.5 \mu\text{m}$ , frecuencia de resonancia de 768 Hz y una sensibilidad estática de

$4.13 \times 10^{-13}$  F/g. Para el diseño 'C' las dimensiones se acercaron más a las dimensiones críticas especificadas por las reglas de diseño. Además, se incluyeron electrodos transversales a los electrodos de sensado. Estos permitirán controlar el desplazamiento de la masa inercial mediante la aplicación de una diferencia de potencial. En otras palabras, el sensor podrá funcionar a lazo cerrado, ampliando su rango dinámico. El diseño 'C' establece una distancia entre electrodos de  $2.5 \mu\text{m}$ , frecuencia de resonancia de 1070 Hz y una sensibilidad estática de  $3.75 \times 10^{-13}$  F/g.

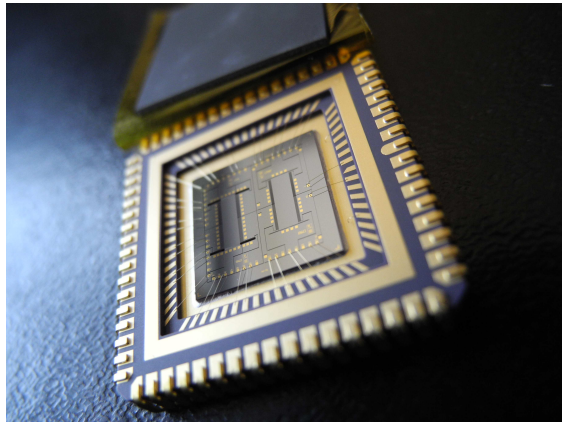


Figura 2: Fotografía de uno de los prototipos encapsulados tal como fueron recibidos de la fábrica.

Para la caracterización eléctrica de los acelerómetros, se implementó un circuito impreso basado en el circuito integrado comercial AD7746. Este circuito permite traducir las variaciones de capacidad generadas a partir de vibraciones mecánicas, a una señal eléctrica que posteriormente se digitaliza y se envía a una computadora mediante un bus I2C para el registro de los datos. La interfaz de comunicación entre el AD7746 y la PC se implementó a través de una placa Arduino 1 (Fig. 3).

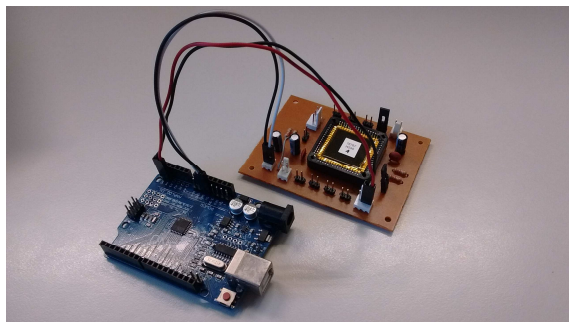


Figura 3: Fotografía de las placas utilizadas para la caracterización eléctrica. En la parte superior se observa el acelerómetro con su electrónica asociada. En la parte inferior se observa la placa Arduino utilizada para la interfaz de comunicación con una PC.

## Resultados

Se recibieron 15 prototipos, de los cuales 10 estaban encapsulados, mientras que los 5 restantes estaban "desnudos". A partir de una primera inspección visual se verificó la integridad física de las estructuras. Sin embargo, una inspección más detallada mostró que en los dispositivos 'C' encapsulados, la masa inercial se había desplazado hacia un lado, cortocircuitando los electrodos. Esto no se observó en los dispositivos desnudos, por lo tanto se puede inferir que algunos de los dispositivos 'C' encapsulados se vieron afectados durante el proceso de encapsulado y soldado. Los dispositivos 'A' no presentaron este problema.

En una primera caracterización eléctrica se sometieron los dispositivos a la aceleración gravitatoria y se registraron los cambios de capacidad (Fig.4).

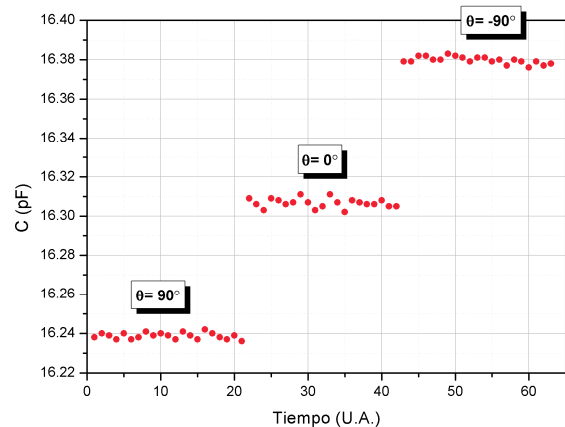


Figura 4: Medición estática de capacidad colocando el acelerómetro en reposo (0°), o rotándolo a posiciones extremas ( $\pm 90^\circ$ ).

En una etapa siguiente de evaluación, deberá implementarse un banco de pruebas que permita generar vibraciones de forma controlada, a los fines de determinar la respuesta en frecuencia y sensibilidad dinámica del sensor.

## Conclusiones

Se obtuvieron con éxito los primeros prototipos para la implementación de un acelerómetro basado en tecnología MEMS de silicio.

Las primeras pruebas eléctricas muestran resultados promisorios, los cuales habrá que verificar y ampliar en pruebas subsiguientes sobre un banco adecuado.

En una última etapa, se reemplazará al CI AD7746 por un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) diseñado en el CMNB.