



núcleo de ingeniería biomédica
facultades de medicina e ingeniería



universidad de la república

Sensores de Presión Implantables

Uri Tenzer – uri.tenzer@gmail.com; uri@tenzer.com.uy

Monografía vinculada a las conferencias del Dr. Ing. Fernando Silveira sobre
*"Circuitos Integrados a Medida para Marcapasos Adaptivos: Aspectos de
diseño y confiabilidad"* y a la presentación del proyecto SMMAC: *Sistema
Multisensor para Monitoreo de la Autorregulación Cerebral*

Resumen

Fundamento – Este es un trabajo realizado en el marco del seminario de Biomédica, como forma de culminar la formación del curso. El tema elegido corresponde a un interés despertado a lo largo de las presentaciones, por los sensores biométricos implantables.

Metodología – Dado que este tema no estaba específicamente incluido en las presentaciones del curso, no se contó con un tutor asignado para la misma. Por tal razón, el método elegido para la elaboración del trabajo fue el de buscar información disponible en Internet, y trabajar con ella.

Resultados – Los sensores implantables de presión tienen una gran versatilidad a la hora de realizar un monitoreo continuo de un paciente. Actualmente, los sensores más utilizados son los capacitivos y los piezoresistivos. De acuerdo a lo relevado, cada uno de estos tipos de sensores se utiliza para medir presiones en distintas partes del cuerpo. Esto determina que según lo que se desee medir, la elección del transductor va a cambiar. En cuanto a la realidad uruguaya respecto de este tema, se puede apreciar que es un campo con poco desarrollo en la actualidad.

1) Introducción

La medición de magnitudes de presión tiene varias aplicaciones para el control o tratamiento de patologías e intervenciones clínicas. Es de gran utilidad para ayudar a los especialistas médicos a tratar a sus pacientes de forma más precisa, de acuerdo con la realidad de su problema.

A lo largo de este trabajo, veremos las aplicaciones de los sensores de presión implantables relacionadas con el tratamiento de la hipertensión crónica, los post-operatorios de cirugías craneanas, y la prevención del glaucoma.

2) Generalidades de los sensores implantables

De forma general, los sensores de presión implantables deben poder comunicarse con el exterior, medir la presión en el órgano deseado, y resultar inocuos al paciente que lo tendrá en su cuerpo.

Para cumplir con este cometido, los sensores de presión implantables cuentan con un transductor de presión, un módulo de radio frecuencia, y deben ser de pequeño tamaño y estar recubiertos por elementos biocompatibles (titanio, cerámica biocompatible, silicona, etc.).

3) Comparación con los Sensores No Implantables

La gran ventaja de los sensores no implantables, es justamente esta característica. El hecho de no tener que pasar por ninguna cirugía, es el mayor factor a favor de los sensores no invasivos.

Otro punto a favor de los sensores de presión no implantables es que al terminar su vida útil, su recambio es muy simple, y no afecta al paciente en absoluto.

Por otro lado, los sensores implantables también tienen varios puntos a favor con respecto de los no implantables, como el hecho de poder medir la magnitud deseada continuamente durante un largo período de tiempo, a intervalos constantes.

Más aún, los sensores implantables son capaces de medir magnitudes que otros sensores no son capaces de medir, como por ejemplo la presión intracraneal.

Finalmente, otra de las grandes ventajas de los sensores implantables de presión es que permiten medir la presión en los distintos órganos con una precisión mucho mayor que los no invasivos.

4) Tipos de Sensores de Presión Implantables

Se han desarrollado varias técnicas para medir la presión de distintos órganos del cuerpo mediante distintos tipos de transductores.

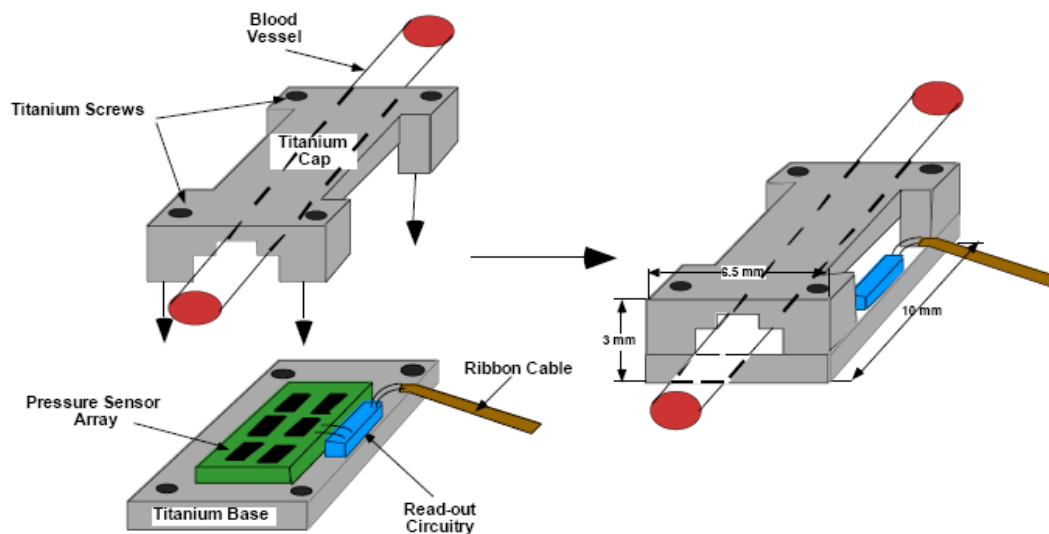
4.1) Sensores Capacitivos

Dentro de las ventajas de usar sensores capacitivos, están su gran sensibilidad y bajo consumo, y son menos propensos al stress del empaquetado. En este caso, se utiliza un arreglo de seis sensores, tres de los cuales son usados como referencia, y los restantes para realizar la medida. [1]

Rango de Presión	0 - 300 mmHg
Resolución	1 mmHg
Respuesta en Frecuencia	0 - 50 Hz
Sensibilidad	2.0 mV / mmHg

El circuito de medida consta de una primera etapa de integración de la carga, y una etapa sub-siguiente de ganancia. La ganancia y offset del circuito de medida pueden ser ajustados mediante capacitores ajustables mediante láser, dentro del chip de medida. [1]

El empaque de este sensor es de titanio, recubierto con goma de silicona de grado médico, que es biocompatible y evita reacciones de rechazo. El encapsulado de este sensor no sólo lo aísla del cuerpo del paciente, sino que cumple una función primordial en el propio sensor, la de lograr que la arteria (o vena) tenga un contacto plano con el arreglo de sensores. [1]



Esquema de un sensor tipo pulsera, basado en sensores capacitivos. [1]

Este sensor está ideado para poder medir la presión vascular en vías de 1.5 a 2 milímetros de diámetro, y aproximadamente 0.1 milímetro de espesor en sus

paredes. Su funcionamiento está basado en el principio de medición tonométrica de la presión. [1]

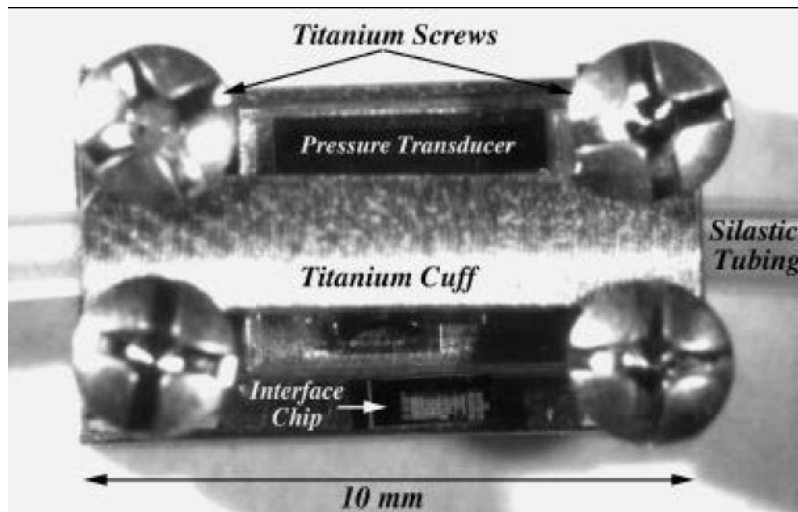


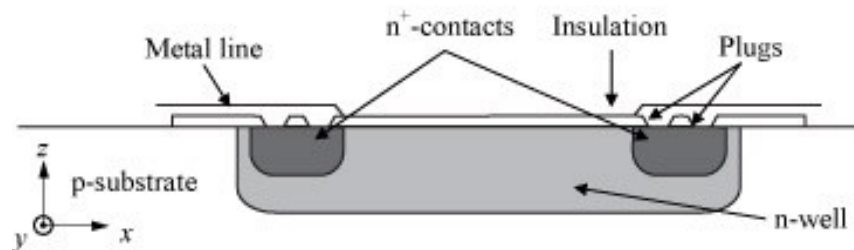
Foto del sensor de presión implantable, tipo pulsera, basado en sensores capacitivos. [1]

Este tipo de sensores tiene un consumo de $120\mu W$, y precisa un voltaje de alimentación de 3V. La fuente de alimentación para estos sensores se debe conectar al chip interfase.

4.2) Sensores Piezoresistivos

Los piezoresistores están hechos a partir de materiales piezoresistivos. Estos materiales cumplen con el principio del efecto piezoeléctrico: cambiar su resistencia de acuerdo con el esfuerzo hecho sobre él.

La forma más simple de piezoresistores son los resistores de difusión, creados en base a semiconductores:

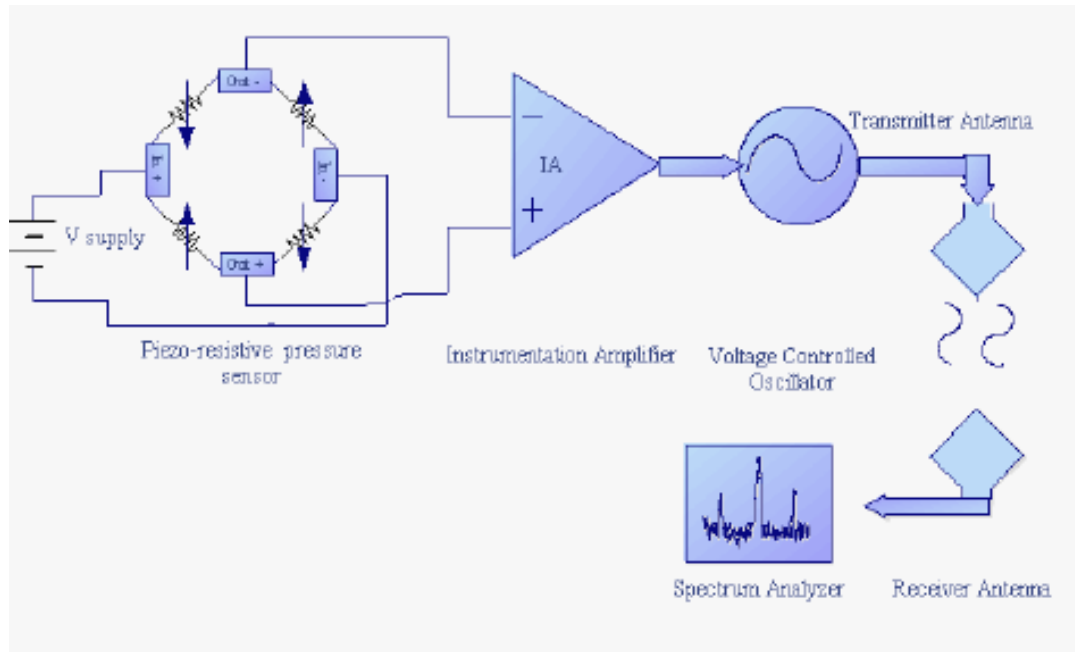


Sección transversal de un piezoresistor fabricado a partir de un elemento de silicio n-well (o pozo n). [7]

En general los sensores piezoresistivos se utilizan en configuraciones de puente de Wheatstone, para aprovechar al máximo su sensibilidad. De igual forma, se estila también utilizar para la detección amplificadores de instrumentación, debido a las pequeñas magnitudes de las variaciones.

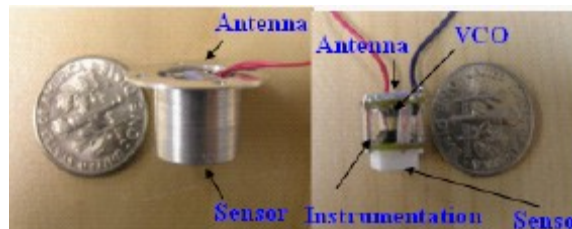
A continuación, se explicará uno de los diseños de sensores de presión implantables, que usa sensores piezoresistivos para detectar la presión. El sensor que se mostrará a continuación fue diseñado para medir la presión intracraneal (PIC), y está

compuesto por un sensor de presión en configuración de puente de Wheatstone, un amplificador de instrumentación, y un oscilador controlado por voltaje.



El sensor tiene una parte “fija”, la cual puede montarse a la parte interior del cráneo si es que así se desea, o simplemente quedar apoyada en él. La parte “móvil” es en la que se encuentran los elementos piezoresistivos, y la que debe estar colocada en el lugar dónde se desea realizar la medición. [2]

El rango de medida de este sensor es de 0 a 258.33 mmHg, sin embargo, el dispositivo está diseñado para operar de 0 a 100 mmHg¹. En cuanto a la transmisión de la presión, el oscilador controlado por voltaje (VCO, por sus siglas en inglés), opera a una frecuencia nominal de 2.4 GHz con un ancho de banda de 120 MHz. [3]



Imágenes del sensor piezoresistivo completo que se implanta en el cráneo². [4]

De acuerdo a los experimentos realizados, se demostró que la pérdida de la señal por la inserción del sensor en el cráneo es de 8 a 13 dB, debido a la absorción del hueso. Por lo tanto, con un analizador de espectro con una sensibilidad de -85 dBm en recepción, el rango de monitoreo es de 0.8m. [3]

La sensibilidad de un sensor de estas características es de 0.3 MHz/mmHg. [3]

¹ La presión intracraneal normal no debería superar los 25 mmHg. Si esta supera los 40 mmHg, se puede ocasionar un trauma severo.

² La moneda de la foto es de 10 centavos de dólar americano. Su diámetro es de 17.91 mm.

Este tipo de sensores permite un control efectivo de la presión intracraneal de forma continuada, tanto luego de una intervención (mientras que el paciente permanece en recuperación) como de forma ambulatoria. De este modo, los profesionales médicos cuentan con una herramienta más para poder evaluar la evolución de los pacientes y controlarlos.

5) Fabricantes

Si bien hay varios trabajos de investigación respecto al tema de sensores de presión implantables (CardioMEMS, APEX Medical, y Campus Micro Technologies GmbH entre otros), donde se han realizado distintas pruebas con éxito, aún no se encuentran muy difundidos del punto de vista comercial.

CardioMEMS es una compañía de equipos médicos que se dedica al desarrollo y comercialización de sensores inalámbricos y equipos de comunicación. En diciembre del 2006, CardioMEMS anunció la implantación exitosa de sensores inalámbricos de presión, para detectar fallas cardíacas, en dos pacientes. [4]



Sensor Inalámbrico de Presión CardioMEMS EndoSure™ AAA y Módulo de monitoreo Exterior. [4]

En marzo de este año, se realizaron tres implantes de productos de CardioMEMS, para el control de pacientes con hipertensión crónica. Estos implantes fueron colocados en las muñecas de los distintos pacientes. [4]

6) Realidad en Uruguay

Actualmente en Uruguay se están realizando algunos estudios para la medición de la presión intracraneal (PIC), de distintas formas. El estudio está enfocado a estudiar la posibilidad de utilizar métodos no invasivos, como el ultrasonido. [8]

Sin embargo, hasta el momento, el método utilizado y conocido para medir la presión intracraneal consiste en una punción, y posterior inserción de un sensor. Esto implica que cada vez que se desea medir la PIC se debe realizar una nueva punción, o aprovechar la realizada anteriormente.

Los sensores implantables de presión están recién comenzando a ser conocidos por los especialistas en la materia en Uruguay.

7) Conclusiones

Los sensores implantables de presión son un área con desarrollo prometedor, debido a su gran aplicación práctica en el control y tratamiento de varias enfermedades que afectan a las personas.

La importancia de estos sensores crece junto con el desarrollo de nuevos materiales que permiten fabricar sensores más sensibles y de menor tamaño.

Si bien el atraso en el conocimiento de los mismos en Uruguay puede verse como una desventaja, es una gran oportunidad para que los especialistas uruguayos desarrollen el tópico.

8) Referencias

[1] Babak Ziaie, Tzu-Wen Wu, Namik Kocaman, Khalil Najafi, y David J. Anderson; "An Implantable Pressure Sensor Cuff for Tonometric Blood Pressure Measurement", 1998.

[2] M. -R. Tofighi, U. Kawoos, F. A. Kralick, y A. Rosen; "Wireless Intracranial Pressure Monitoring Through Scalp at Microwave Frequencies; Preliminary Phantom and Animal Study", año 2006.

[3] U. Kawoos, R. V. Warty, F. A. Kralick³, M. R. To-ghi, and A. Rosen; "Issues in Wireless Intracranial Pressure Monitoring at Microwave Frequencies", PIERS Online, año 2007 (version aún no publicada).

[4] www.cardiomems.com, visitada en Mayo del 2007.

[5] Measuring Up @ Winter 2006, Research Horizons, Mayo del 2006.

[6] www.meas-spec.com, visitada en Mayo del 2007.

[7] www.wikipedia.com, visitada en Mayo del 2007.

[8] Presentación de la Dra. Puppo, en el marco del Seminario de Biomédica, 22 de Mayo del 2007.