

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SENSOR DE PRESION CAPACITIVO IMPLANTABLE PARA MONITOREAR GLAUCOMA



D. Díaz^a, F. Quiñones^a, M. Escobar^a, L. Niño de Rivera^b, W. Calleja^a

^a Li-MEMS INAOE, ddalonso@inaoe.mx

^b Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, IPN, Culhuacan, México

Resumen

El Glaucoma es una condición neurodegenerativa caracterizada por el incremento en la presión intraocular (PIO). En México más de un millón 500 mil personas padecen esta enfermedad y es una de las principales causas de ceguera en el mundo. Además, al ser este un problema de salud pública asociado a un aumento de la PIO que no provoca síntomas evidentes, la detección oportuna de este padecimiento es vital para evitar daños irreversibles a la visión. Actualmente, la Tonometría de Aplanación es el procedimiento estándar para medir la PIO, sin embargo, no permite un monitoreo continuo durante un periodo prolongado, además de que no puede detectar variaciones de la PIO con el paso del tiempo. Otras alternativas de medición, son el uso de lentes de contacto con sensores integrados que permiten medir el cambio angular de la cornea debido a los efectos del incremento de la PIO, pero se necesita que la lente sea moldeada como una copia exacta de la superficie del ojo en cada paciente. Por lo tanto, considerando la necesidad de una herramienta de diagnóstico capaz de monitorear continuamente la PIO, se ha desarrollado un sensor de presión capacitivo apropiado para implantarse en la cámara anterior del ojo, a fin de poder detectar el Glaucoma en su fase inicial y prevenir los efectos de dicho padecimiento. Este dispositivo se ha desarrollado con la tecnología PolyMEMS-INAOE, y su principio de operación se basa en la variación de la capacitancia en función de la presión aplicada al diafragma suspendido de Polisilicio. El diseño considera una capa adicional de Nitruro de Silicio utilizado para recubrir la estructura del sensor debido a la biocompatibilidad que este material ofrece. El dispositivo se diseña para detectar presiones en un rango de 1- 80mmHg, con dimensiones alrededor de 600µm.

I. INTRODUCCIÓN.

La Presión Intraocular (PIO) se mantiene constante mediante el equilibrio que existe entre la producción y eliminación de líquido en la parte anterior del ojo, denominado **humor acuoso**. Si la circulación del humor acuoso es normal, éste entra al ojo desde el cuerpo ciliar a través de las cámaras del ojo y sale por la red trabecular y el canal de Schlemm, como se ilustra en la figura 1b). En estos casos la PIO oscila entre 10-21 mm Hg [1]. Cuando se produce una alteración modificando la circulación del humor acuoso y no se llega a producir la compensación de salida por falla en el mecanismo de drenaje, figura 1c), aumenta la presión dentro de la cavidad ocular y nos encontramos ante un cuadro hipertensivo ocular que clasificaremos como algún tipo de glaucoma, de acuerdo con la tabla 1 [2].

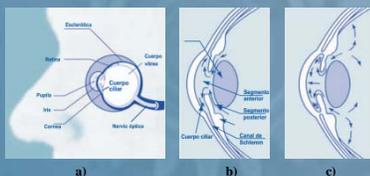


Fig. 1. Cuerpo ciliar. a) Ubicación del cuerpo ciliar en el globo ocular. b) Circulación del humor acuoso en un ojo normal. c) Circulación del humor acuoso en un ojo afectado por glaucoma.

Presión Característica	Tipo de Glaucoma
10 mm Hg	Congénito
>21 mm Hg	Baja Tensión o Normotensional
30-45 mm Hg	Primario de Angulo Abierto (GFAA)
45-60 mm Hg	Primario de Angulo Cerrado (GFAC)

Tabla 1. Tipos de Glaucoma

Técnica de Medición PIO- Tipo de técnica	Debilidad	
Convencionales	Palpación- No Invasivo	Método inexacto.
	Manometría - Invasivo	-----
	Tonometría de Aplanación - No Invasivo	No permite una medición continua.
Nuevas técnicas de Medición en desarrollo	Lentes de contacto con circuitos integrados - No Invasivo	Requiere un lente con la copia exacta de la superficie del ojo en cada paciente.
	Sensores de presión Intraocular - Invasivo	-----

Tabla 2. Métodos de Medición de la PIO [3]

II. METODOLOGIA

Aunque investigadores y especialistas en el campo reconocen la necesidad de una herramienta de monitoreo continuo en pacientes con glaucoma, a fin de prevenir y dar un tratamiento adecuado previo a la pérdida de la visión, ningún método era todavía disponible. Por lo tanto, el desarrollo de un sensor de presión intraocular invasivo ofrece una solución efectiva ante este padecimiento. La tabla 3 especifica los requerimientos para el desarrollo de un sensor PIO [4].

Figura de Merito	Requisitos
Implantable	Dimensiones, Biocompatibilidad y Ubicación de Implante
Rango de Presión	Parámetros Estructurales y Mecánicos
Sensibilidad	Dimensiones, Simetría
Resolución	Método de Lectura y Diseño
Desarrollo	Costo y funcionalidad

Tabla 3. Requisitos en un sensor PIO



Fig. 2. Principio de Operación de un sensor PIO capacitivo

¿Cómo cumple el sensor fabricado estos requerimientos?

Analizando las figuras de mérito en sensores de presión intraocular previamente reportados, la principal desventaja en la mayoría, involucra el procedimiento de fabricación, ya que requieren etapas complejas que implican costos adicionales en el desarrollo de los prototipos e incluso en algunos casos los dispositivos solo se presentan a nivel de diseño computacional. Con el desarrollo de la tecnología PolyMEMS-INAOE, se ha diseñado un sensor de presión capacitivo en modo contacto, para medir la PIO en un rango de 1-80mm Hg. El sensor tal y como se diseña y fabrica cumple con todos los requerimientos necesarios para poderse implantar dentro del globo ocular. Este dispositivo se basa en un diafragma suspendido de Polisilicio con dimensiones ~600µm y simetría cuadrada y circular. Todo el dispositivo es cubierto con una capa delgada de Nitruro de Silicio para evitar alguna corrosión durante su funcionamiento. La figura 3, muestra la metodología de diseño. El proceso de fabricación previo a la etapa de sellado, se presenta en la figura 4.

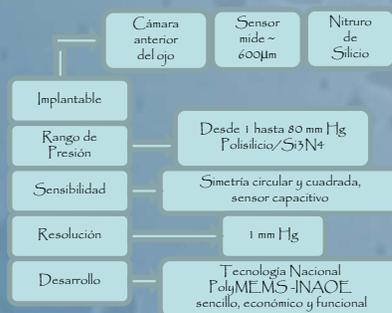


Fig. 3. Metodología de Diseño del sensor PIO

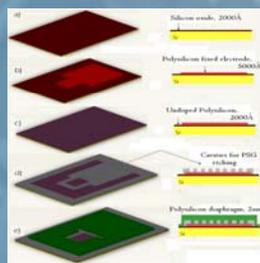


Fig. 4. Proceso de Fabricación desarrollado con la tecnología PolyMEMS - INAOE

III. RESULTADOS

La primera fase de este proyecto elaborado en colaboración con investigadores del ESIME IPN y el equipo médico del Hospital Luis Sanchez Bulnes de la ciudad de México fue desarrollado satisfactoriamente. Dicha fase consistió en el diseño y fabricación de un sensor de presión Intraocular. La figura 5, muestra una imagen SEM de los dispositivos fabricados de simetría circular y cuadrada. Las pruebas estructurales realizadas a los sensores demostraron que son mecánicamente estables y completamente flexibles y presentan cambios considerables en su capacitancia ante una presión aplicada.

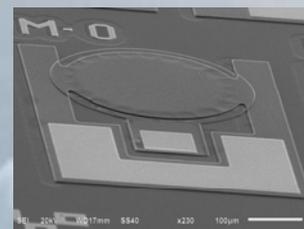


Fig. 5. Sensor de Presión Intraocular. a) Dispositivo de simetría circular. b) Dispositivo de simetría cuadrada

La última fase del proyecto que considera la etapa de caracterización, montaje e inserción en el globo ocular del dispositivo se encuentra en desarrollo. La figura 6 muestra un esquema de inserción parcial del sensor diseñado con algún punto de control para el registro en tiempo real de los niveles de presión intraocular.

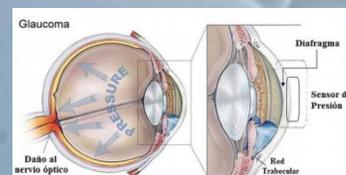


Fig. 6. Esquema de inserción del sensor PIO.

Referencias

- [1] PFIZER OPHTHALMICS BOOKLET. "QUESTIONS AND ANSWERS ABOUT GLAUCOMA THE SNEAK THIEF OF SIGHT". <http://www.glaucoma.org.au/nesh/Spanish.PDF>
- [2] FERREIRO L. S., RUIZ N. S. "ANATOMÍA Y FISIOLÓGIA DEL APARATO OCULAR: GLAUCOMA". http://www.sepeap.org/archivos/libros/OFTALMOLOGIA/Ar_1_8_44_APR_9.pdf
- [3] LEONARDI, M., LEUENBERGER, P., BERTRAND, D., ET AL., "FIRST STEPS TOWARD NONINVASIVE INTRAOCULAR PRESSURE MONITORING WITH A SENSING CONTACT LENS". INVESTIGATIVE OPHTHALMOLOGY & VISUAL SCIENCE, VOL. 45, NO. 9, PP. 3113-3117, SEP. 2004.
- [4] KATURI, K.C., RAMASUBRAMANIAN, M.K., AND ASRANI, S., "INTRAOCULAR PRESSURE MONITORING SENSORS," IEEE SENSORS 1, VOL. 8, NO. 1, PP. 12 -19, JAN. 2008.