

EXPLORANDO LA MICROMECAÁNICA APLICADA A LA BIOLOGÍA: BIOMEMS

OSCAR PILLONI CHOREÑO

Los sistemas micro electromecánicos (micro electromechanical systems, MEMS) forman un conjunto de tecnologías que permiten el diseño y construcción de dispositivos miniatura para solucionar problemas específicos. Los MEMS hacen uso de las tecnologías de microfabricación para generar estructuras en escalas que van de un milímetro a la milésima parte de un milímetro (micrómetro). Se han utilizado en aplicaciones aeroespaciales, para mecánica automotriz, electrónica de consumo, para cosecha de energía, como transductores y en varias aplicaciones más.

BioMEMS es la disciplina que surge del uso de la tecnología MEMS para generar dispositivos para aplicaciones enfocadas en resolver problemas biológicos y médicos.

Las primeras aplicaciones que se pueden considerar BioMEMS fueron desarrolladas hace más de 50 años como un

esfuerzo multidisciplinario que usaba los dominios de la mecánica y la electrónica para resolver problemas biológicos. Sin embargo, en ese tiempo se han involucrado disciplinas como la ciencia de materiales, la bioquímica, la biología celular, la termodinámica y la biomedicina para desarrollar dispositivos cada vez más complejos. Recientemente ha tomado auge la disciplina, lo que ha causado un desarrollo acelerado en una multitud de campos. Algunas de las aplicaciones incluyen la generación de sensores electroquímicos sumamente sensibles para la detección de iones, fabricación de pruebas de embarazo rápidas, confiables y de bajo costo, la amplificación de secuencias de ADN para detección y diagnóstico de enfermedades, el desarrollo de ingeniería celular para investigación y tratamiento, la generación de dispositivos para diagnóstico de enfermedades en sitio (point-of-care-diagnostic), entre otras.

Históricamente, se han clasificado como BioMEMS a dispositivos MEMS que interactúan con sistemas biológicos ya sea mediante el sensado de sus señales, realizando la manipulación de algún parámetro asociado al sistema, al integrarse al sistema biológico o al replicarlos.

Entre las disciplinas y herramientas disponibles para el desarrollo de dispositivos BioMEMS se cuenta con la microfluídica,

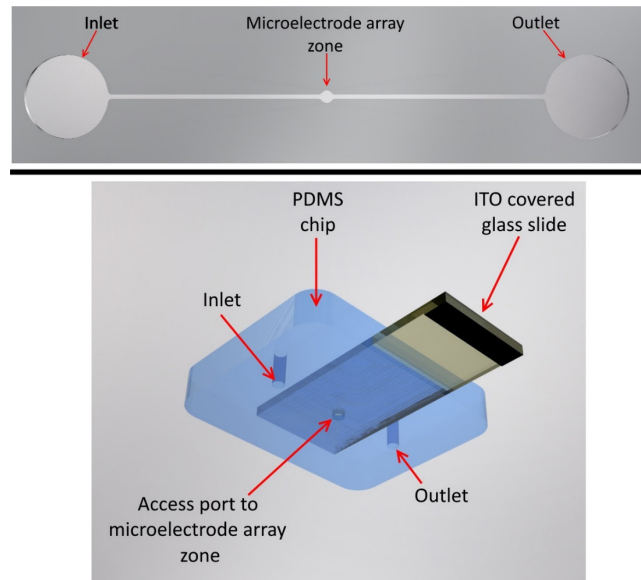
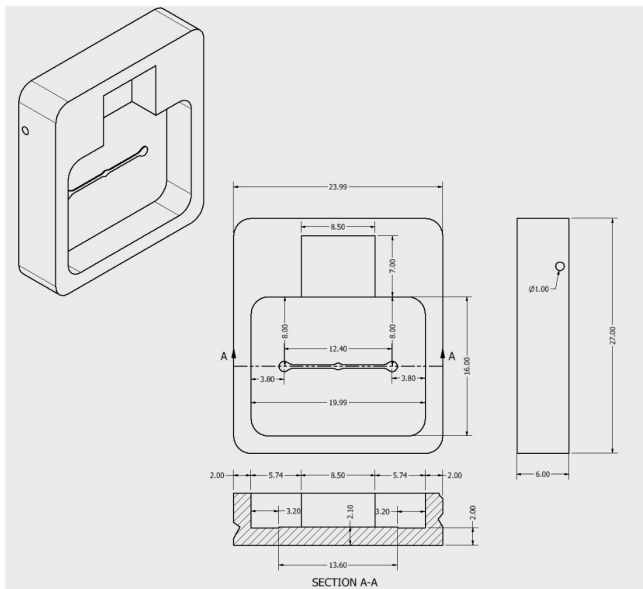


Fig. 1. Plano esquemático (izquierda) y reproducción digital de un dispositivo BioMEMS que incorpora microfluídica (derecha). Módulo empleado en un dispositivo para la micromanipulación de biopartículas. Dimensiones en mm.

que estudia la manipulación de pequeños volúmenes de fluido en microcanales (ver ejemplo en Fig. 1); las técnicas mecánicas, ópticas y electrocinéticas de micromanipulación, que se enfocan en el posicionamiento, fijación y separación por selección de micropartículas; la litografía suave, que permite la fabricación de microestructuras empleando polímeros flexibles como sustrato; y los biosensores y arreglos de microelectrodos para sensado, que registran señales ya sea electroquímicas, mecánicas, ópticas o eléctricas asociadas a sistemas biológicos (ver ejemplo en Fig. 2).

Por otra parte, existe una nueva tecnología de sistemas microelectromecánicos fabricados con base en carbono (C-MEMS) para aplicaciones biológicas.

Los C-MEMS son una tecnología emergente la cual utiliza los átomos de carbono presentes en diversos materiales (precursores de carbono) para la fabricación de microestructuras versátiles de carbono.

Recientemente, se han utilizado resinas fotosensibles como precursores de carbono para esta tecnología. La combinación de procesos de fotolitografía con procesos de pirólisis en

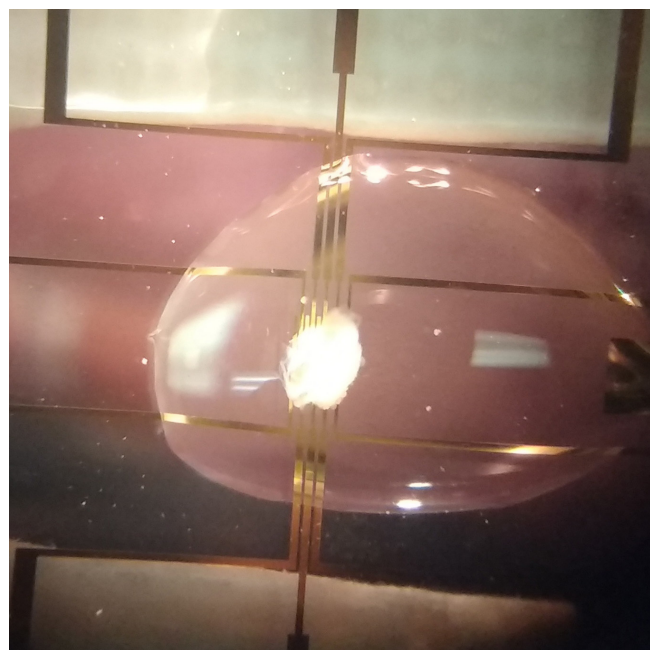


Fig. 2. Trozo de tejido cardiaco sobre un arreglo de microelectrodos, parte de un dispositivo de sensado de potenciales eléctricos extracelulares BioMEMS.

atmósferas inertes se ha utilizado exitosamente para fabricar microestructuras complejas de carbono de manera sencilla, un hito que no se había logrado hasta el momento. Un ejemplo de lo anterior es la posibilidad de fabricar arreglos de microelectrodos de carbono que combinan estructuras planas, con alturas menores a unos cuantos micrómetros medidos desde el sustrato, con estructuras extruidas, cuyas alturas rondan las decenas o centenas de micrómetros; esto para generar de forma sencilla microestructuras con buena conductividad eléctrica, útiles para aplicaciones como el posicionamiento preciso de biopartículas por efectos electrocinéticos o para el desarrollo de mejores baterías.

La pirólisis de microestructuras fabricadas con resinas fotosensibles requiere de una atmósfera inerte que desplaza el oxígeno de la cámara de reacción, evitando la combustión de la resina, y que también sirve para alejar los productos secundarios de la reacción de las microestructuras. Es por lo anterior que usualmente se hace uso de un flujo continuo de Nitrógeno o Argón, o se genera un vacío en la cámara de reacción para evitar la combustión del material. Las microestructuras generadas poseen altas relaciones de aspecto, buena biocompatibilidad, son electroquímicamente estables y de bajo costo (Fig. 3). Una de las áreas de oportunidad en las que se puede aplicar la tecnología C-MEMS es en el desarrollo de biosensores In vivo para el monitoreo y control de enfermedades como diabetes, hipoxia y falla cardiaca, tema de perenne importancia para el bienestar del pueblo mexicano.

Un tema de especial interés para las tecnologías de la salud es el desarrollo de dispositivos In vivo que permitan un diagnóstico rápido y correcto del estado de salud de un paciente a través de la adquisición de señales fisiológicas relevantes. La problemática reside en que los biosensores que existen actualmente no soportan de manera operativa las condiciones que existen en el interior de un cuerpo vivo por mucho tiempo. Es en este punto que las excelentes propiedades de los C-MEMS pueden subsanar las deficiencias de los materiales empleados en la fabricación clásica de biosensores subcutáneos, como los utilizados en la medición de glucosa en sangre o en la medición de ácido láctico.

Es debido a la versatilidad e importancia de los temas que toca la tecnología BioMEMS que en el Instituto de Ingeniería se ha creado un área que se enfocará en el desarrollo de dispositivos BioMEMS destinados a coadyuvar en resolver problemáticas de salud relevantes para la comunidad mexicana (Fig. 4).|

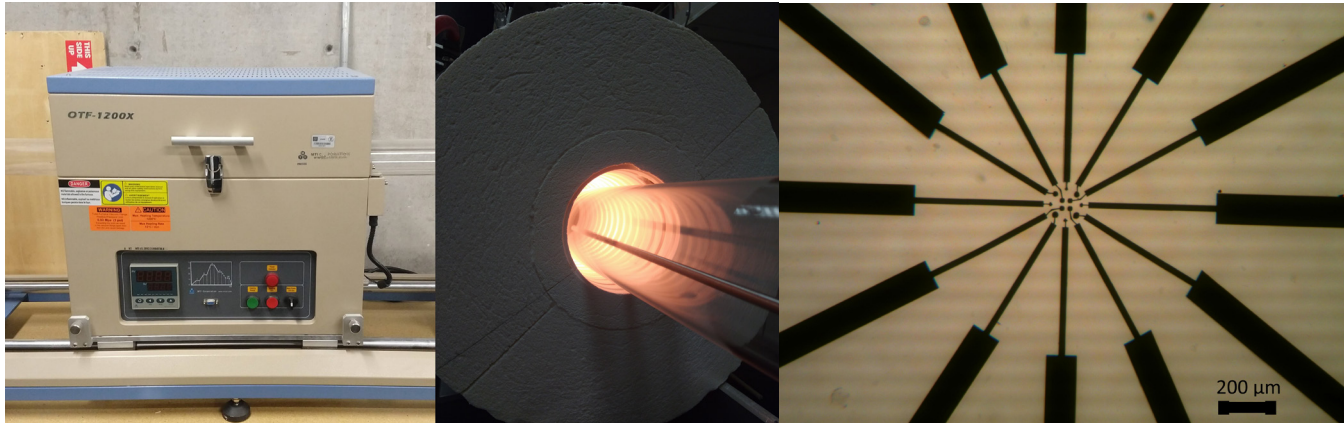


Fig. 3. Horno tubular para proceso de materiales, utilizado en la fabricación de C-MEMS para pirólizar precursores de carbono (Izquierda y centro). Un arreglo de microelectrodos de carbono fabricados con este proceso (Derecha).



Fig. 4. Instalaciones del laboratorio “Microfascinantes” parte del proyecto “Microtecnología al alcance de tu mano: Preparando a los niños y jóvenes de hoy para diseñar los dispositivos del mañana” en el cual participa el Instituto de Ingeniería.

Agradecimiento

Finalmente, se agradece a la Dra. Laura A. Oropeza Ramos responsable del Laboratorio de micro-dispositivos BioMEMS y Lab on a Chip de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, donde se realizaron los trabajos de investigación correspondientes a las imágenes presentadas.