



## Fabricación y Caracterización Electroquímica de ISFETs: Progreso hacia el Desarrollo de la Bio-Electrónica

Joel Molina R. \*, Wilfrido Calleja A., Mauro Landa V. Pablo Alarcón P.  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. INAOE, Puebla.

Luis Enrique Erro #1 Apartado Postal 51 y 216. Tonantzintla Puebla, México.

El ISFET (Ion-Sensitive Field-Effect Transistor) desarrollado inicialmente por Bergveld en 1970, es un sensor químico de estado sólido empleado para la detección de la actividad iónica de una solución electrolítica. Este sensor emplea al transistor MOS como el dispositivo transductor principal entre la señal química a detectar y la señal eléctrica de salida. Originalmente, los primeros ISFETs fabricados se emplearon como detectores de pH o de la actividad iónica de hidrógeno (H<sup>+</sup>) presente en las soluciones. En la actualidad, los ISFETs se emplean como dispositivos capaces de detectar iones de diferentes elementos e inclusive arreglos atómicos y/o moleculares más complejos. El ISFET se hizo sensitivo y selectivo a una especie en particular y esto aumentó su empleo en muchos campos de interés siendo el más importante el de la biomedicina debido al reducido tamaño del elemento transductor. Debido a la importancia de este dispositivo para el desarrollo de la bioelectrónica, presentamos en este trabajo los resultados preliminares de las mediciones de pH realizadas, empleando al ISFET fabricado con una estructura dieléctrica de compuerta Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>. La respuesta electroquímica del sensor se obtiene a partir de curvas Ids-Vds de los transistores fabricados. Los niveles de corriente Ids en saturación del ISFET, resultan proporcionales y reproducibles para con los niveles de pH de las soluciones bajo las mismas condiciones de polarización. Se demuestra la sensibilidad del ISFET fabricado para con el pH de las soluciones analizadas.

Palabras clave: ISFET, SiO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

\* [jmolina@susu.inaoep.mx](mailto:jmolina@susu.inaoep.mx)

### I.- INTRODUCCIÓN

En 1970, Piet Bergveld [1] desarrolló un dispositivo de estado sólido capaz de medir la actividad iónica de medios ambientes biológicos y electroquímicos tal como el registro del nivel de pH de alguna solución. Este dispositivo fue denominado por Bergveld como ISFET y su principio de operación es similar al de un transistor MOS, esto es, la generación de un canal de conducción entre fuente y drenaje para una polarización de compuerta aplicada. A diferencia de un transistor MOS, el ISFET no posee el electrodo metálico de compuerta y el dieléctrico de esta misma región se expone directamente a la solución a medir. Bergveld demostró que al eliminar la compuerta metálica de un MOSFET ordinario y exponiendo el dieléctrico a un electrolito dado, las características electroquímicas del ISFET son afectadas por la actividad iónica del electrolito, generándose un potencial interfacial electrolito-dieléctrico dependiente de pH:  $\phi_o = f(\text{pH})$ .

Las características operacionales básicas a cumplir para estos dispositivos son 2 principalmente: que el dieléctrico superficial presente en la región de compuerta del ISFET tenga la mayor *sensibilidad* posible con el fin de detectar rápida y confiablemente, valores mínimos del pH de las soluciones a analizar, y que el material dieléctrico seleccionado desarrolle la mínima cantidad posible de *deriva e histéresis* durante las mediciones, lo cual es importante si se desea utilizar ISFET's para mediciones de pH a largo plazo. Esta última condición los hace viables en el campo biomédico.

### II.- ESTRUCTURA DEL ISFET

La estructura presentada por los sensores de pH se muestra en la figura 1:

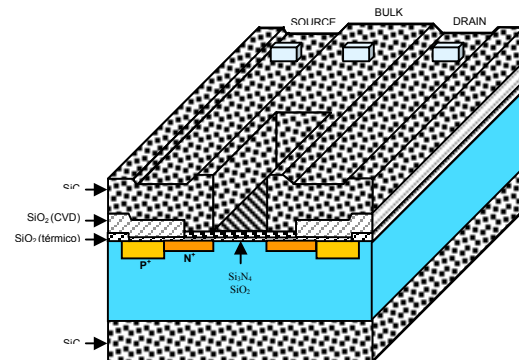


Figura. 1.- Representación esquemática de un ISFET convencional.

Se observa de la figura anterior una vista general de los materiales empleados durante la fabricación del dispositivo, así como la disposición de las regiones activas de fuente, drenaje y compuerta del transistor, las cuales deben diseñarse de tal forma que se asegure una adecuada protección de la estructura general del ISFET durante las mediciones. Esto es importante ya que soluciones demasiado ácidas pueden dañar la integridad física del sensor. En nuestro diseño, se plantea una "extensión" de las regiones altamente dopadas n<sup>++</sup> de fuente y drenaje hacia un extremo del chip (definiendo a la vez los pad's de contacto hacia estas



regiones), mientras que la región de compuerta se define al otro extremo del mismo.

El patrón geométrico (layout) utilizado para la fabricación de los ISFET's así como uno de los sensores ya fabricados, se muestran a continuación:

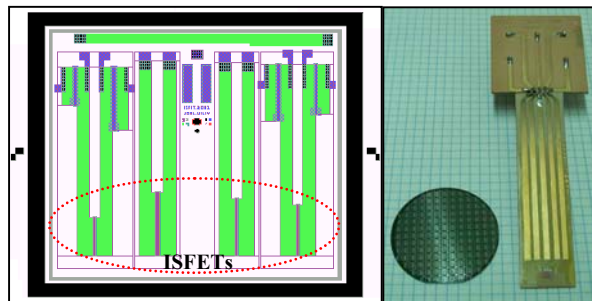


Figura 2.- Patrón geométrico (layout) e ISFET fabricado y encapsulado.

De la figura 2 se observa la distribución geométrica de los ISFET's en el área del circuito integrado (CI) destinada para la fabricación, así como de dispositivos de prueba como transistores y capacitores MIS para la caracterización de materiales. Una de las grandes ventajas que estos dispositivos presentan con respecto a otros sistemas sensibles al pH de las soluciones, es la capacidad de integración de la electrónica de control dentro del mismo CI de manera simultánea. Lo anterior es posible gracias a que estos sensores químicos pueden ser diseñados y fabricados con la tecnología convencional de fabricación de circuitos integrados, y en nuestro caso, con la tecnología C-MOS de fabricación de CI's del Laboratorio de Microelectrónica del INAOE.

### III.- ESQUEMA DE MEDICIONES DE pH

El régimen usual de operación de un ISFET es el modo de corriente  $I_{DS}$  en saturación para un voltaje de polarización  $V_{GS}$  constante, dejando a  $V_{DS}$  como la única fuente de polarización variable (curvas  $I_{DS}$ - $V_{DS}$ ). Un esquema general de medición se muestra en la figura 3.

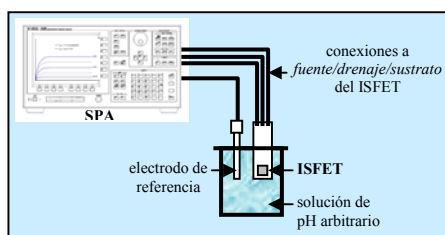


Figura 3.- Esquema de mediciones de pH.

Los resultados idealmente esperados para los transistores ISFET son curvas I-V, donde se observe claramente la dependencia de éstas para con el pH de las soluciones. Lo anterior se muestra a continuación:

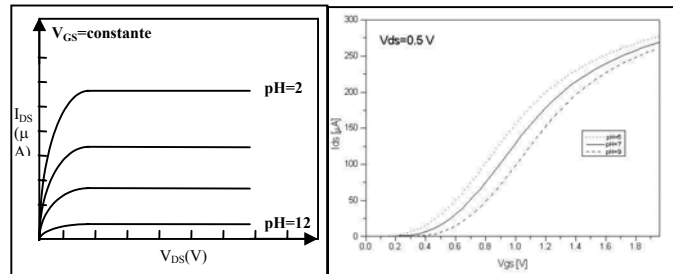


Figura 4.- Curvas I-V ideales de un ISFET para diferentes valores de pH.

### IV.- MEDICIONES PRELIMINARES DE pH

Posteriormente a la fabricación, se diseñó un circuito impreso que sirviera como soporte mecánico para el chip terminado así como de extensión de contactos de fuente, drenaje y sustrato del ISFET, esto puede observarse de la fotografía presente en la figura 2.

Los resultados obtenidos de las primeras mediciones de pH son los siguientes:

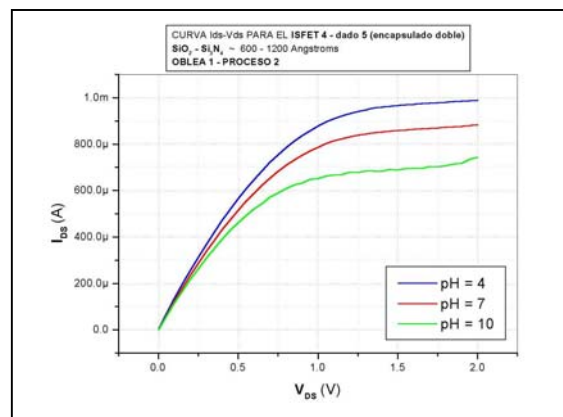


Figura 5.- Mediciones preliminares de pH con los ISFET's ya fabricados.

De la figura anterior, se encuentra que los niveles de corriente  $I_{DS}$  en saturación del ISFET, resultan proporcionales y reproducibles para con los niveles de pH de las soluciones bajo las mismas condiciones de polarización.

### V.- CONCLUSIONES

Se presentó el diseño geométrico de los sensores ISFET fabricados así como el resultado de



las primeras mediciones de pH, demostrándose que el dispositivo es sensible a la actividad iónica de las soluciones analizadas.

#### REFERENCIAS

- [1] P. Bergveld, "Developments of an ion-sensitive solid-state device for neuro-physiological measurements", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-17., pp. 70-71, Jan. 1970.