



Ensayo de un sensor electroquímico usando el principio FET como transductor

M.A. Escobar¹, X. Hernández G.², A. Ramírez³, A. Zehe⁴

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica de la BUAP, Licenciatura,

¹Proyecto Estudiantil Institucional 'Jóvenes Creativos'

²Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP, Licenciatura,

³Instituto de Ciencias DEMICUAP,

⁴Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
72000 Puebla, México

Resumen

Los sensores químicos microelectrónicos han sido investigados como una opción de bajo costo a los métodos tradicionales de laboratorio. Un FET es un dispositivo que permite el control de una corriente entre fuente y drenaje por medio de un voltaje aplicado a la compuerta. Es posible sustituir la terminal metálica de la compuerta y formar un campo eléctrico entre compuerta y el sustrato al exponer la región de la compuerta a la acción química de los iones existentes en una solución química. Los efectos de esta interacción nos permiten obtener información sobre el estado químico de la solución, e incluso la identificación de sus componentes. El desarrollo de las tecnologías de fabricación de circuitos integrados y de semiconductores orgánicos harán que este tipo de dispositivos sean usados ampliamente en el futuro.

1. Introducción

Los avances del procesamiento químico moderno han sido en beneficio exclusivo de las empresas más poderosas debido al alto costo que representan los complejos análisis de laboratorio; como la cromatografía de gas o la espectroscopia de movilidad de iones. Estos métodos son efectivos y exactos para detectar concentraciones químicas y discriminar entre sustancias. Sin embargo su uso ha sido simplemente inimaginable para aplicaciones residenciales, como sensor sustancias tóxicas en alimentos. A estos procesos de laboratorio añadimos además otra desventaja, el tiempo: un estudio en un laboratorio convencional puede tardar varios días en arrojar resultados. Esto último en situaciones de emergencia es inaceptable.

Las técnicas actuales de miniaturización han sido útiles; sin embargo estas han tenido que sacrificar en parte la exactitud para conseguir menores costos, menor tiempo de respuesta y mayor accesibilidad económica.

De las necesidades anteriores surge la idea de usar los FET para sensor variables químicas. Principalmente se

busca desarrollar circuitos integrados que tengan la capacidad de sensor y procesar variables químicas.

Las ventajas del uso y desarrollo de este tipo de tecnología saltan a la vista, ya que en un futuro estos nuevos sensores electroquímicos responderán única y exclusivamente a la variable que se desee sensor. Al lograr su miniaturización y su empaquetamiento en un circuito integrado logramos que el dispositivo sea barato y a medida que se mejoren sus tecnologías de fabricación las perspectivas aumentan.

En el presente trabajo se realiza una evaluación de la potencialidad y fabricación de estos dispositivos.

2. Descripción de sensores químicos

El monitoreo clínico e industrial de fluidos o tejidos, se hace a partir de una muestra que es llevada a un laboratorio. Los resultados son producidos con un claro retardo en el tiempo. La instrumentación basada en sensores lleva los instrumentos a la muestra, permitiendo el monitoreo de variables químicas *on-line*, en tiempo real o casi real. [1, 2]

La principal ventaja de los instrumentos basados en sensores es que pueden ser aplicados a mediciones *in situ*. Los instrumentos que usan sensores son más sensibles y más económicos que los procedimientos centralizados. La información es producida rápida y continuamente, debido a que el instrumento es colocado en o cerca de la muestra. Estas ventajas se incrementan usando sensores fabricados con técnicas y materiales microelectrónicos. Los sensores microelectrónicos son más baratos, más pequeños, robustos mecánicamente y fáciles de integrar con otros sistemas electrónicos [2]. Por estas razones los sensores basados en semiconductores son objeto de un gran número de investigaciones y prometen ser extremadamente útiles para mediciones *in vivo*. [2]

Hay tres áreas principales de investigación en estos sistemas: Detección de concentraciones, discriminación química y mejoramiento del tiempo de respuesta. Muchos sensores químicos microelectrónicos son capaces de



detectar concentraciones razonablemente bien cuando estas tienen un nivel mediano o alto. Dos de las tecnologías más comunes en la realización de sensores químicos son sensores en base a películas delgadas, y el CHEMFET.

Generalmente las tecnologías de los sensores microelectrónicos están basadas simplemente en cambios en la conductividad en un material en respuesta a químicos en el entorno. El más simple de estos sensores basados en conductividad es el sensor de película delgada, el cual es simplemente una película de un material sensitivo químicamente cuya conductividad cambia en respuesta al entorno químico. [3]

Los transistores de efecto de campo químicamente sensitivos, CHEMFET (Chemically Sensitive Field Effect Transistor) tienen sus antecedentes desde el año 1970 cuando Bergveld propuso el concepto de ISFET [4] (Ion Sensitive Field Effect Transistor), los cuales son una subdivisión de los CHEMFET. Pese a contar con 30 años de historia las aplicaciones prácticas han surgido muy lentamente.

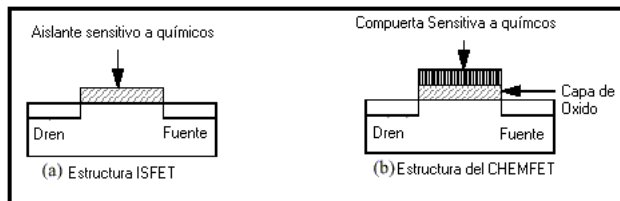


Figura 1. Estructura (a) del ISFET, (b) del CHEMFET

El principio de funcionamiento de los diferentes tipos de CHEMFET es básicamente el mismo; se tiene un nivel inicial de Fermi, el cual depende del material usado en su sensor y su dopamiento; una absorción de sustancias químicas, la cual provoca una transferencia parcial de cargas y esto a su vez provoca un cambio en el nivel de Fermi.

El ISFET es simplemente un MOSFET sin compuerta, la compuerta es reemplazada por una solución electrolítica la cual es contactada por un electrodo de referencia. En el ISFET la corriente fluye de la fuente al dren por medio de un canal, tal como en el MOSFET la resistencia del canal depende del campo eléctrico perpendicular a la dirección de la corriente. [5]

El ISFET puede ser modificado al añadirle una membrana de sensado y entonces se le conoce como MEMFET. Los iones penetran esta membrana y un potencial es generado, el cual es detectado por la estructura del FET.

El SURFET es un ISFET al que se le añade una capa bloqueadora de iones, la cual cubre las partes sensitivas al pH del aislante de la compuerta.

El ISFET no ha sido explotado de la forma que podría debido a la vulnerabilidad de la membrana protectora la contaminación ambiental; esta contaminación ambiental daña; el funcionamiento del transistor. Además esta membrana no provee de una protección contra la luz del entorno; es decir el ISFET puede ser sensible a "ruido óptico".

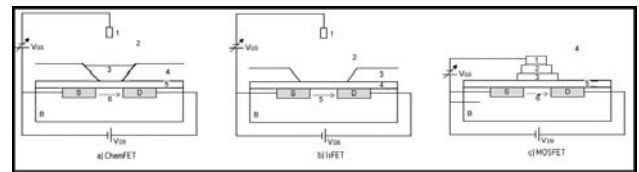


Figura 2. Diferencias entre el

(a) ChemFET	(b) IsFET	(c) MOSFET.
1: Electrodo de Referencia	1: Electrodo de Referencia	1: Electrodo de Referencia
2: Solución	2: Solución	2: Compuerta de Oxido
3: Membrana Selectora Iones	3: Resina Aislante	3: Resina Aislante
4: Capa de Oxido	4: Compuerta de Oxido	4: Canal
5: Resina Aislante	5: Canal	D: Dreno
6: Canal	D: Dreno	S: Fuente
D: Dreno	S: Fuente	B: Sustrato
S: Fuente	B: Sustrato	
B: Sustrato		

El CHEMFET usa una capa de óxido estándar como aislante y un metal químicamente sensitivo, como el paladio, como compuerta. Añadir esta compuerta minimiza la sensibilidad a la luz. Además la capa de óxido es menos susceptible a sufrir cambios por interaccionar con el ambiente. Los CHEMFETs presentan varias ventajas como son baja impedancia de salida, rápida respuesta, accesibilidad a la producción en serie y la fácil integración en arreglos de sensores

Existen sensores que han sido derivados del CHEMFET y el ISFET como el SAFET (Surface Accessible FET) o el SGFET (Suspended Gate FET), estos tienen mayor selectividad y sensibilidad; sin embargo tienen un tiempo



de vida muy corto, debido a que su capa de óxido está total o parcialmente expuesta. [4]

Ejemplos novedosos del uso de los sensores microelectrónicos son las aplicaciones *in vivo* de los ISFET para medir pH en el tejido muscular del corazón. Las variaciones del pH pueden representar muchos desórdenes. Otro ión de gran importancia fisiológica y patológica es el potasio; alteraciones en las concentraciones de potasio pueden afectar el ritmo al corazón. [2]

La mayoría de los sensores son sensitivos a una gran variedad de químicos. Hacer una discriminación entre estos químicos es muy difícil si no es que imposible en un solo sensor. Esta es una de las causas que junto con la selectividad, confiabilidad y reproducibilidad han provocado que las investigaciones hechas en estas tecnologías estén todavía separadas de la producción. [4]

La combinación de sensores en forma de arreglos tiene muchas ventajas sobre los sensores individuales. Un arreglo heterogéneo que contenga diferentes tipos de sensores mejora la selectividad, mientras que un arreglo homogéneo que contiene el mismo tipo de sensores operando en condiciones idénticas mejora la confiabilidad de los datos.

Los arreglos de sensores químicos junto con técnicas de procesamiento de señales apropiadas pueden resolver los problemas de discriminación. El procesamiento de señales puede ser basado en hardware o software. [5]

La llegada y propagación de las computadoras ha impulsado de manera sistemática la investigación y el desarrollo del campo de los sensores químicos, debido a la innovación que representa el seguimiento continuo mediante computadora de los parámetros químicos de un proceso complejo, lo cual abre la posibilidad de intervenir en el control del mismo. Las operaciones básicas de análisis con sensores requieren de: computadora, interfaz, y software especial.

El sensor interactúa con la muestra y transforma selectivamente determinada información química, en una señal susceptible de ser medida. La interfaz es un dispositivo que se encarga de transformar la señal que codifica la información química procedente de la muestra, en una señal analítica útil. El software nos permite controlar la interfaz y visualizar los resultados de la medición en un gráfico o en una tabla de datos.

En los procesos de diseño actuales se busca tener modelos de los dispositivos, de tal manera que una simulación del sistema completo pueda ser hecha antes de implementar este. Muchos esfuerzos han sido dirigidos a modelar los

sensores químicos basados en semiconductores. Estos modelados se han hecho en diversas herramientas CAD como MATLAB, PSPICE y OPTIMA. [6,7]

3. Conclusiones

Los sensores químicos son ideales para ser utilizados en mediciones directas, sin un tratamiento preliminar de la muestra. En los procesos industriales eliminan la necesidad de tomar muestras *in situ* o en organismos vivos. También son apropiados para mediciones en laboratorios móviles, ambulancias, visitas médicas, etc.

A causa de su relativamente baja susceptibilidad a la degradación ambiental el CHEMFET parece ser el más promisorio de los sensores químicos basados en FET a pesar de tener menor selectividad en comparación con otros sensores de este tipo. El CHEMFET consiste en un MOSFET cuya compuerta ha sido sustituida por un metal químicamente sensitivo, el cual interactúa con los químicos del ambiente permitiendo así el sentido de dichos químicos.

Debido a los limitados recursos monetarios y económicos con los que se cuentan en futuro se busca desarrollar teóricamente un sensor electroquímico y obtener un modelo y simulación en PSPICE.

4. Agradecimientos

Uno de los autores (M.A.E) desea agradecer al Arquitecto Sandoval y a la Dra. Lilia Cedillo por brindar el espacio para participar en este proyecto

Referencias

- [1] Gómez Moliné, Margarita. Alegret, Salvador. Los sensores químicos una aportación a la instrumentación analítica. *Educación Química*. 84 (4), 1997, pp. 191-196
- [2] Valdés-Perezgasga, F., Flores, F., Hernández, P. R.. Isfet Applications in Biological Matter: An Overview. *Journal of the Mexican Society of Instrumentation*. 4 (3), 2000, pp. 10-14
- [3] Bartic, Carmen; Campitelli, Andrew. Baert, Kris. Suls, Jan. A low-cost CHEMFET device based on an organic thin-film transistor. *8th International Meeting on Chemical Sensors*. Basel, Switzerland, 2000, p. 208.



[4] Wilson, D.M. *Analog VLSI Architectures for Chemical Sensing Microsystems* Tesis Doctoral (Georgia Institute of Technology. 1995) pp. 5-27, 19-20,127.

[5] Langereis, G. R.. *An Integrated Sensor System for Monitoring Washing Process* Tesis Doctoral. (Universidad de Twente. 1999). pp. 2-22

[6] Opalski, L.J. Ogrodzki J.. Modeling of Semiconductor PH Sensor for CAD. *Mixed Design of Integrated Circuits and Systems*. Gdynia, Poland. 2000.

[7] Ogrodzki J. Opalski, L.J.. Modeling of Semiconductor Ion-Selective Sensors Computer Aided Simulation and Design. *Mixed Design of Integrated Circuits and Systems*. Gdynia, Poland. 2000.