

# CARACTERIZACION ELECTRICA DE DISPOSITIVOS MOSFET IRRADIADOS CON FUENTE DE $^{60}\text{Co}$

Lombardi R., Redin G., Vercik A., Faigón A.

Laboratorio de Física de Dispositivos-Microelectrónica  
Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires  
Pasco Colón 850 (1063) - Buenos Aires - Argentina  
e-mail: rlombard@aleph.fi.uba.ar

El propósito de este trabajo es discriminar mecanismos de degradación de dispositivos MOS, luego de ser irradiados con rayos gamma. Se realizaron en forma previa y posterior a la irradiación mediciones características Capacidad vs Voltaje, y Corriente de Sumidero vs Tensión de puerta.

El aparente efecto de recuperación observado en el seguimiento de los corrimientos de la tensión de encendido puede ser explicado mediante la combinación de dos fenómenos acumulativos: la carga en el óxido, y la creación de estados de interfaz durante la irradiación.

Radiation damage mechanisms on MOS device exposed to gamma rays, were investigated. The capacitance-voltage, and drain current characteristics were measured before and after several irradiation doses. The analysis shows that the apparent "turnaround" effect suggested by the observation of the threshold voltage can be explained in terms of two accumulative effects: charge trapping at the oxide and interface states creation during the irradiation.

## I. INTRODUCCIÓN

En un MOSFET, los daños por radiación se manifiestan en el óxido y en el Si, y son, tanto pares electrón-hueco producidos por reacciones intermedias de incidencia de neutrones o partículas gamma, como dislocaciones en la red producidas por la exposición a partículas de alta energía<sup>(1)</sup>, y aún cuando pueden coexistir, son producidos por interacciones diferentes de la radiación con la materia, y tienen consecuencias diferentes en el semiconductor y en el óxido. La ionización o creación de pares, se produce al incidir partículas cargadas en la red cristalina, y excitar electrones de la banda de conducción, dejando detrás huecos en la banda de valencia. Hasta el año 1962, se pensó que los daños por radiación sólo eran concernientes al semiconductor, el conocimiento aportado por el satélite de comunicaciones "Teslar", demostró que los daños en la superficie eran tan importantes como los del interior del material. Los dispositivos MOSFET, mayoritariamente utilizados en aplicaciones espaciales, mostraron cambios en la transconductancia, y no son, por lo tanto, insensibles a la radiación. Experimentos posteriores, demostraron que los cambios en la características eléctricas de los "MOSFET", eran también causados por la formación de carga positiva en el óxido. La diferencia de los daños por radiación en el óxido y el semiconductor, es que en el último la radiación ionizante produce efectos transitorios, mientras que en el óxido produce cambios permanentes. El estudio que nos proponemos, tiene además de un interés de aplicación, el objeto de proveer información para una clasificación de tipos y origen de defectos en estas estructuras.

## II. MUESTRAS

Se trata de dispositivos Mosfet tipo Motorola

BS170, con canal "n", irradiado con fuente de  $^{60}\text{Co}$  de la Planta de Fuentes Intensas del Centro Atómico Ezeiza, con tasas de dosis de 0.13 Kgy/min (kilogrey/min) y dosis totales de 1, 11.9 y 94.8 Kgy. La medición de la actividad se realizó por medio de detectores termoluminiscentes. Cada irradiación se efectuó sobre tres dispositivos, quedando una muestra de tres idénticos sin irradiar como testigo.

## III. CORRIMIENTO DE LA TENSION DE UMBRAL

La figura 2 muestra la corriente de drain,  $I_D$ , función de la tensión de drain,  $V_D$ , medida en condición de saturación (fig.1). De la intersección de la tangente a la curva con  $V_{\text{drain}}$  se puede extraer el valor de la tensión de umbral de acuerdo a<sup>(2)</sup>:

$$I_D^{1/2} = (k\mu C_{ox})^{1/2} (V_G - V_T)$$

donde k es una constante que depende de los parámetros geométricos de fabricación,  $\mu$  la movilidad de los electrones en el canal,  $C_{ox}$ , es la capacidad del óxido,  $V_G$ , la tensión de puerta, y  $V_T$ , la tensión de umbral.

Se aprecia un corrimiento de la tensión de umbral hacia valores negativos para las muestras con dosis de 1 y 10 Kgy, en tanto para la muestra irradiada con 100 Kgy la tensión de umbral presenta una deriva hacia la derecha respecto de la dosis anterior, respondiendo a un efecto denominado "Turn-around", en la literatura<sup>(4,5)</sup>.

Debe notarse a su vez, la progresiva disminución de las pendientes indicando una caída de la movilidad resultado del daño producido por la radiación en la interfaz Si-SiO<sub>2</sub>, y que eléctricamente se manifiesta en la degradación de la transconductancia,  $g_m = \partial I_D / \partial V_G$ .

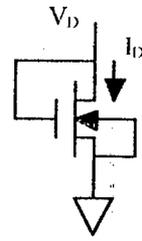


Figura 1. Esquema de medición  $I_D^{1/2}$  vs  $V_d$  para el dispositivo MOSFET.

#### IV. CAPTURA DE CARGAS EN EL ÓXIDO Y CREACION DE ESTADOS EN LA INTERFAZ Si-SiO<sub>2</sub>.

Del análisis de las curvas Capacidad vs Voltaje de puerta (C-V) en alta frecuencia con source y drain conectados al sustrato (fig.3), se puede obtener información sobre la carga atrapada en el óxido y la cantidad total de estados superficiales creados durante la irradiación. El continuo corrimiento hacia la izquierda de la tensión de bandas planas,  $V_{FB}$ , - flanco izquierdo de las curvas - revela carga positiva que se acumula en el óxido. Suponiendo que esta carga esté uniformemente distribuida, su cantidad se calcula mediante :

$$Q_{ox} = 1/2 C_{ox} \Delta V_{FB}$$

El ensachamiento de las curvas es proporcional al número de estados por unidad de area  $N_{ss}$ , que se calcula según<sup>(3)</sup>:

$$N_{ss} = (dV_T - dV_{FB}) \cdot C_{ox} \cdot q^{-1}$$

donde  $dV_T$  y  $dV_{FB}$  es la variación de la tensión de umbral y de bandas planas respectivamente.

Los resultados se detallan en el tabla 1.

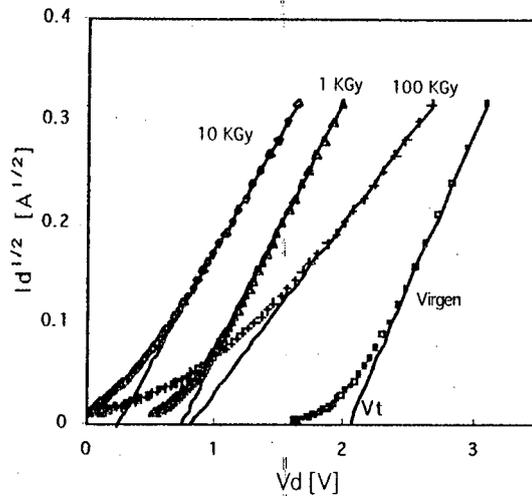


Figura 2. Corriente de Drain vs Tensión de Drain, para distintas dosis de radiación.

#### DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se muestran en este trabajo primeros resultados de un estudio acerca de los efectos de radiación sobre dispositivos MOS.

El uso de una de las curvas completas Capacidad-Tensión, para investigar los cambios producidos, permite discriminar la carga atrapada en el óxido de los estados de superficie creados durante la irradiación.

Es interesante destacar que ambos efectos combinados dan por resultado un corrimiento anómalo de la tensión de encendido, que en la literatura aparece con el nombre de "V<sub>T</sub> turn-around", y que se interpreta de diferentes maneras. En este trabajo se muestra que el "turn-around" -al menos en este caso- no es otra cosa que la superposición de dos efectos simples. La observación tiene alguna implicancia tecnológica. Los dosímetros que se basan en los efectos que acá se estudian, censan V<sub>T</sub> por la sencillez de la circuitería. A la luz de los presentes resultados es evidente que el rango para el cual V<sub>T</sub> es un indicador de la dosis acumulada es limitado, y que puede ser conveniente el censo de V<sub>FB</sub>, la tensión de bandas planas, aún al costo de circuitos de mayor complejidad.

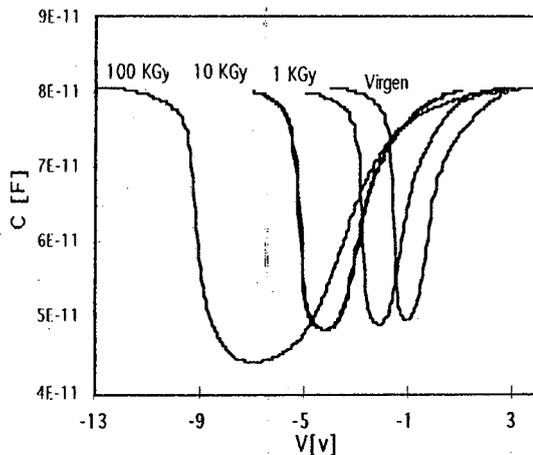


Figura 3. Curvas Capacidad vs Voltaje de puerta para distintas dosis de radiación.

Dispositivo	Densidad de estados $\text{cm}^{-2}$	Carga atrapada $\text{Coul/cm}^2$	Dosis Kgy
VIRGEN	0	0	0
bs4	$.21 \cdot 10^{11}$	$2.9 \cdot 10^{-8}$	1
bs12	$2.8 \cdot 10^{11}$	$7.1 \cdot 10^{-8}$	10
bs5	$14.5 \cdot 10^{11}$	$15.2 \cdot 10^{-8}$	100

Tabla 1. Densidad de estados superficiales y carga atrapada en el óxido para distintas dosis de radiación

#### REFERENCIAS

1. Nicollian E, Brews J.R. "MOS Physics and Technology" p.553, Wiley (New York), 1982
2. Muller y T. Kamins, Device Electronics for Integrated Circuits, p. 437, Wiley (New York), 1986.
3. Y. Nissan Cohen, J. Shappir and Frohman Bentchkowsky, J. Appl. Phys., 60, 2024 (1986)
4. P.S. Winokur, M.R. Shancyfelt, T.L. Meisenheimer, and D.M. Fleetwood "Advanced Qualification Techniques" IEEE Transactions on Nuclear Science Vol. 41, No. 3, Jun 1994, p. 538
5. O. Flament, J.L. Laray, J.L. Martin, J. Montaron, M. Raffaelli "Radiation Effects on Soi Analog Devices Parameters" IEEE Transactions on Nuclear Science Vol. 41, No. 3, Jun 1994, p. 565
6. A. Kelleher, N. McDonnell, B. O'Neill, W. Lane "Investigation into the re-use of PMOS Dosimeters" IEEE Transactions on Nuclear Science Vol. 41, No. 3, Jun 1994, p. 445
7. Nicollian E, Brews J.R. "MOS Physics and Technology" p. 426, Wiley (New York), 1982