

APLICACION DEL MODELO DE LA CORRIENTE DE SUBUMBRAL PARA DETERMINACIÓN DE ESTADOS SUPERFICIALES RAPIDOS

Lombardi R., Redin G., Palumbo F., Boschan A., Faigón A.

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

En el marco de un estudio sobre daños por radiación en dispositivos Metal Oxido Semiconductor, se puso a punto un método para determinar la creación de estados de interfaz por la irradiación, a partir de la medición de la corriente subumbral en transistores y se lo comparó con el método convencional. Los resultados, para irradiaciones con fuente de ^{60}Co con dosis integradas de .1 a 4 kGy, muestran una dependencia lineal entre el cuadrado del número de nuevos estados creados y la dosis correspondiente. Del análisis de las características capacidad-voltaje, los estados creados serían del tipo donador.

In the framework of a study about radiation damage on Metal Oxide Semiconductor devices, a technique for determining the surface state density based on measurements of the subthreshold current was implemented. The results, for gamma rays (^{60}Co source) with integrated doses from 0.1 to 4 kGy, are comparable to those obtained by conventional methods, and show a linear dependence of the square of the amount of new surface states and the radiation doses. From the analysis of the capacitance-voltage curves, the new created states seem to be donors.

I. INTRODUCCION

Durante las últimas dos décadas se han investigado los efectos de la radiación sobre dispositivos MOS. Las investigaciones mostraron cambios en los parámetros eléctricos, y en los estados electrónicos y su ocupación, luego de irradiados.

El conocimiento de dichas modificaciones es útil para predecir el comportamiento de los dispositivos en ambientes radioactivos, o para lograr detectores más aptos para la radiación de campos gamma o neutrónico que los relativamente antiguos de Si(Li) ó Ge(Li) ^[1], para uso médico o técnicas espaciales, así como para el desarrollo de dispositivos resistentes a la radiación. Los mecanismos, por los cuales se modifican los parámetros eléctricos del dispositivo, son, entre otros: la captura de cargas positivas en el óxido, por la generación de pares hueco-electrón durante la irradiación ^[2], la creación de estados superficiales de interfaz, y la disminución de la movilidad de los portadores en el canal del transistor. Las cargas positivas en el óxido producen corrimientos de la tensión de umbral del dispositivo, y los estados superficiales producen deformación en la curva capacidad vs tensión, aún cuando el dispositivo no haya sido polarizado durante la irradiación.

Ha sido demostrado ^[3] que el aumento de los estados superficiales rápidos, incrementan la corriente de subumbral, que está presente en el canal antes que la tensión de puerta iguale a la de encendido, y que constituye un parámetro crítico en circuitos con baja

corriente de fuga, como relojes electrónicos o memorias dinámicas.

II. MUESTRAS Y METODOLOGIA

Es el propósito de este trabajo determinar los estados de interfaz creados durante la radiación del dispositivo con rayos gamma, a partir de un modelo de corriente de sub-umbral, y comparar los resultados con el método convencional por corrimientos de curvas C-V.

Las muestras utilizadas fueron transistores comerciales, canal "n", irradiados con fuentes gamma de ^{60}Co en la Planta de Fuentes Intensas del Centro Atómico Ezeiza. Se utilizaron distintas tasas de dosis, y dosis totales desde 0.1 kgy hasta 10 kgy. La medición de la actividad se realizó con detectores termoluminiscentes. Cada irradiación se efectuó sobre tres dispositivos quedando una muestra de tres idénticos sin irradiar.

III. MODELO PARA LA CORRIENTE SUBUMBRAL

La corriente de sub-umbral es la presente en el canal para tensiones de puerta inferiores a la de encendido. Esta corriente, dominada por el fenómeno de difusión, depende del gradiente de la densidad de portadores, y, para la posición y' del canal, se expresa:

$$I_{diff} = -qDn \left. \frac{dn(y)}{dy} \right|_{y=y'} \quad (1)$$

donde q es la carga del electrón. D la constante de difusión. W el ancho del canal. x_d el espesor efectivo del canal. n la concentración de los electrones a lo largo del canal. y' la coordenada de posición a lo largo del canal.

La concentración de portadores en el canal es exponencial con la tensión de puerta. para tensiones inferiores a la de umbral. su valor en la vecindad de la fuente. n_s se relaciona con la densidad de estados superficiales rápidos (N_{FS}) y la carga en la zona desierta. en la forma válida para V_{GS} no cercana a la tensión de umbral^[3].

$$n_s = N_{AS} \exp \left[\frac{V_{GS} - V_{TH}}{\left(1 + \frac{qN_{FS} + C_B}{C_{ox}} \right) V_T} \right] \quad (2)$$

con:

N_{AS} = concentración de aceptores en la superficie

$$V_T = kT/q \quad C_B = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{qN_{AS} \epsilon_S}{\phi_p}} \quad C_{ox} = \epsilon_S/x_{ox}$$

donde V_{GS} es la tensión de puerta. V_{TH} la tensión de umbral. ϵ_S la permitividad del silicio. y x_{ox} espesor del óxido.

Con estas consideraciones. y la dependencia usual de Boltzmann para la concentración de portadores con el potencial a lo largo del canal. la expresión para la corriente de difusión vendrá dado por:

$$I_{diff} = \frac{qDx_dW}{L} n_s \left(1 - \exp(-qV_{DS}/kT) \right) \quad (3)$$

donde L es la longitud del canal y V_{DS} la diferencia de potencial sumidero-fuente.

Finalmente aplicando logaritmo a la expresión (3). la pendiente b del $\log I_{DS}$ vs. V_{GS} vendrá dada por:

$$b = \frac{\log e}{\left(1 + \frac{qN_{FS} + C_B}{C_{ox}} \right) V_T}$$

La determinación experimental de la pendiente de la parte lineal de las curvas de la figura 1. permite conocer el valor de los estados superficiales rápidos en el dispositivo. Con este método se discrimina la formación de los estados superficiales. de todo otro efecto producto de la irradiación del dispositivo.

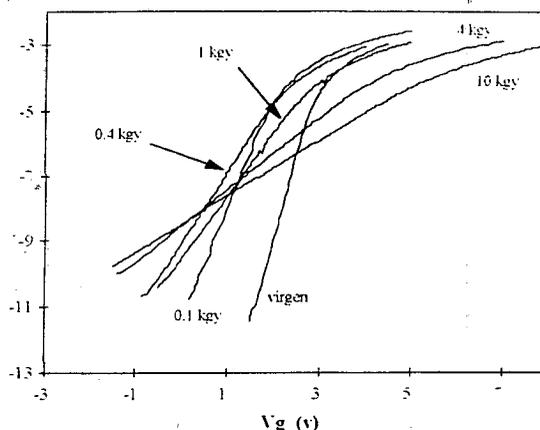


Figura 1 : Curvas experimentales de Log de la corriente vs. tensión de puerta para dispositivos irradiados a distintas dosis.

IV. METODO CAPACIDAD-VOLTAJE

Las características capacidad-voltaje del MOS ven sensiblemente afectadas debido a la existencia de los estados superficiales pues la cantidad de carga atrapada varía con la tensión aplicada. A partir del ensanchamiento de las C-V medidas en alta frecuencia con fuente y sumidero conectados al sustrato se puede obtener información sobre la cantidad total de estados creados por la irradiación. La diferencia entre la tensión de bandas planas (V_{fb}) y de encendido del transistor (V_{th}) es una medida del número de estados en la interface por unidad de área. según^[4]:

$$N_{FS} = \epsilon_{ox} \frac{\Delta V_{th} - \Delta V_{fb}}{x_{ox}}$$

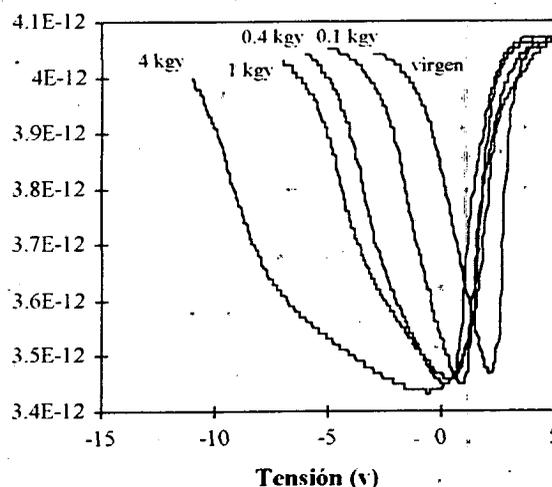


Figura 2 : Capacidad vs Tensión para distintas dosis de radiación.

V. RESULTADOS

A partir de las pendientes de las curvas Log Id vs Vg (Fig.1) se determinó la densidad de estados superficiales rápidos, para las distintas dosis de radiación. Se observan, principalmente, dos efectos: un desplazamiento de las curvas en tensiones, producto de la creación de nuevas trampas en el óxido, y un decrecimiento de la pendiente de las curvas en la región subumbral a causa del aumento de estados superficiales. La figura 2 muestra el ensanchamiento de las curvas C-V creciente con la dosis de radiación, y un corrimiento de la tensión de bandas planas Vfb, a causa de la creación de estados de interface.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3, donde se puede apreciar la consistencia de ambos métodos para la determinación de dichos estados. Los resultados son representables por una función del tipo $Nfs = Nfso + A \cdot \text{dosis}^\alpha$, resultando $A = 6 \cdot 10^{11} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{kgv}^{-1/2}$ y $\alpha = 1/2$, siendo $Nfso = 9.19 \cdot 10^{10} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ la densidad de estados inicial del transistor.

VI. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se ha determinado la creación de estados de superficie en la interfaz óxido semiconductor de estructuras MOS irradiadas con rayos gamma, a partir de un modelo para la corriente de sub-umbral. Se mostró también que este método es comparable al método convencional para este tipo de determinaciones basado en mediciones capacidad-tensión.

La determinación del tipo de estados creados-donores o aceptores- no es unívoca dado que sus manifestaciones en la curva C-V pueden estar enmascaradas por la carga simultánea del óxido. No obstante, la coincidencia del flanco derecho de las curvas C-V para las muestras irradiadas - fig.2 - pareciera indicativo de la creación de estados donores de interfaz. Caso contrario habría que suponer captura de carga positiva en el óxido que compense exactamente los nuevos estados creados en cada irradiación, coincidencia improbable.

No disponemos aún de un modelo físico que de cuenta de la cinemática encontrada -el ajuste se hizo en base a una expresión matemática simple- sin embargo, parece importante destacar i) un rápido crecimiento inicial debido -probablemente- a enlaces débiles o tensionados que ceden fácilmente ante la radiación ; ii) un ritmo más lento de creación de estados que sigue a esa etapa inicial. En el mismo, la radiación debe romper los enlaces no tensionados de la superficie . iii) No se observa una tendencia a la saturación del fenómeno en el rango que hemos medido. Probablemente la misma aparecería en la vecindad de $10^{14} - 10^{15} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$, que corresponde a todos los sitios de la red en la superficie

presentando estados plausibles de ser ocupados por electrones.

La presencia de estados superficiales que se aproximan a densidades típicas de carga en la zona de inversión (del orden de 10^{11} ó más altas), son generalmente inaceptables en el diseño de un MOSFET^[6]. En este sentido, los resultados precedentes, indican un límite de radiación permitida para el tipo de dispositivos utilizados, de aproximadamente 0.1 kgv, para degradar su movilidad, y de algunos kilograys para inutilizarlos.

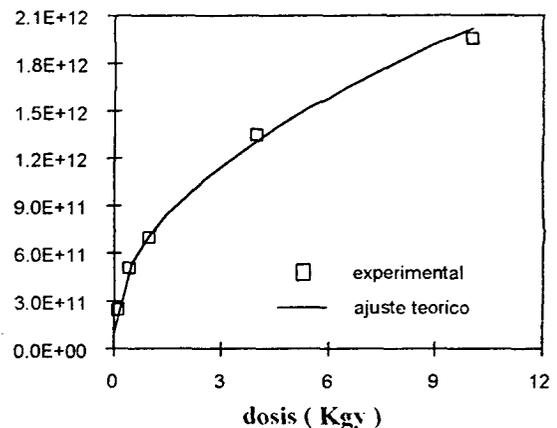


Figura 3 : Densidad de estados superficiales vs. dosis, obtenida a partir de las pendientes de las curvas de Id vs. Vg (Modelo), y de las C-V, para dispositivos irradiados.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Struder L., Holtau H.: Radiation Protection Dosimetry, Vol 61, No 1-3, pp 39-46, 1995
- [2] Nicollian E., Brews J.: "MOS Physics and Technology", Cap.11
- [3] Antognetti P., Caviglia D., Profumo E.: IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SC-17, NO. 3, June 1982.
- [4] Nissan Cohen, J. Shappir, D. Frohman Bentchkowsky, J. Appl. Phys. 60, 2024, (1986).
- [5] McWhorter P.J. and Winokur P., Appl. Physics Lett. 48(2), 13 January (1986.)
- [6] Muller R., Kamins T. "Device Electronics for Integrated Circuits." Cap.8, pag 403