

Efectos de la irradiación con protones de alta energía sobre óxidos túnel para circuitos CMOS

C. Fleta¹, F. Campabadal¹, J. M. Raff², M. Lozano¹ y M. Ullán¹

¹ Institut de Microelectrònica de Barcelona, CNM-CSIC, Campus UAB, 08193-Bellaterra, Barcelona.

² IMEC, Kapeldreef 75, 3001 Leuven, Bélgica.

I. INTRODUCCIÓN

Las necesidades de los experimentos de física de altas energías, en los que para conseguir una alta rapidez de respuesta la electrónica de lectura ha de estar inmersa en un entorno de radiación muy hostil, suponen un desafío en el campo de la fiabilidad de los circuitos integrados. El presente trabajo se enmarca dentro de los estudios del efecto de las radiaciones sobre dispositivos MOS en los que el óxido es delgado (<10 nm).

En la fig.1 se presenta el diagrama de bandas de la estructura MOS en diferentes condiciones de polarización. A campos eléctricos lo suficientemente elevados se establece una corriente túnel a través del dispositivo que, según la relación entre la altura de barrera, ϕ_B , y la caída de potencial en el óxido, V_{ox} , será de tipo túnel directo o túnel Fowler Nordheim. Esta última se puede expresar como:

$$J_{FN} = B J_0 = B \{ A E_{ox}^2 \exp(-C / E_{ox}) \} \quad [1]$$

donde B es una componente oscilatoria que se debe a la interferencia de la función de ondas del electrón en el punto de retorno clásico que constituye la interfaz SiO₂/Si. E_{ox} es el campo eléctrico en el óxido, y los parámetros A y C dependen de la altura de la barrera.

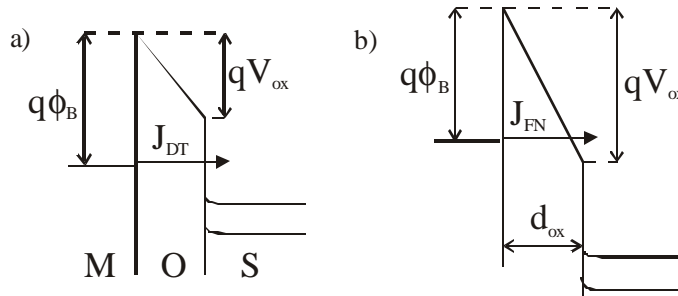


Fig. 1 Modos de conducción túnel en estructuras MOS: a) Túnel directo b) Túnel Fowler-Nordheim

II. MEDIDAS EXPERIMENTALES

Los dispositivos utilizados en este estudio son estructuras capacitivas Poly-n⁺/SiO₂/Si(p). El óxido tiene un espesor de 4.9 nm, y el área es 6.4x10⁻⁵ cm². Las muestras fueron fabricadas en el CNM e irradiadas con protones de 24 GeV/c en el acelerador Protón-Sincrotrón del CERN, hasta alcanzar unas fluencias de 10¹³, 3x10¹³ y 10¹⁴ p/cm² (10¹⁴ p/cm² equivalen a 3.2 Mrad en SiO₂).

Con objeto de evaluar los efectos de la irradiación sobre el óxido de puerta, se han estudiado las características de la conducción eléctrica de los dispositivos. Las curvas corriente-voltaje se pueden ver en la fig.2. En la que corresponde a las capacidades sin irradiar, representada por una línea continua, se distingue una zona de bajos voltajes ($V_g < 4.5V$), en la que la intensidad a través del óxido es inferior a 1pA, seguida de un tramo

en que la corriente aumenta con el voltaje aplicado de forma exponencial, debido a la conducción túnel a través del óxido, hasta que eventualmente se produce la ruptura dieléctrica. El tramo exponencial se puede ajustar según la ecuación [1], lo que demuestra que el mecanismo de conducción predominante es del tipo Fowler-Nordheim. Del ajuste también se obtiene una altura de barrera de 2.7 eV, valor típico para la interfaz Polyn+/SiO₂.

Las características de las capacidades irradiadas con protones de alta energía (fig.2, líneas discontinuas) son similares a la correspondiente a las capacidades sin irradiar, excepto que en ellas se aprecia un aumento de la corriente en la zona de bajos campos ($3.5V < V_g < 5V$). Este fenómeno ha sido observado por otros autores y con diversas fuentes de irradiación^{1,2}, y se ha explicado por la creación de trampas en el óxido, que dan lugar a una corriente túnel asistida por trampas. Para campos elevados ($V_g > 5V$) y todos los niveles de irradiación, el efecto de las trampas queda oculto por el aumento exponencial de la corriente. La superposición de las características en la zona Fowler-Nordheim demuestra que la altura de barrera no se ha visto modificada por la radiación.

Esto último queda confirmado en la fig.3, donde se puede ver que las gráficas correspondientes a la componente oscilatoria de la corriente Fowler-Nordheim también están superpuestas. De aquí se puede deducir además que la irradiación con protones de alta energía no ha producido daños en la interficie SiO₂/Si.

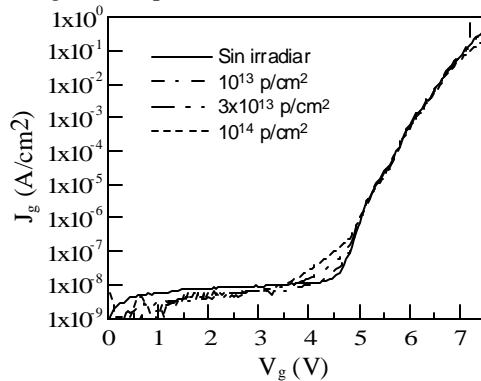


Fig. 2. Curvas corriente-voltaje de las muestras sin irradiar e irradiadas.

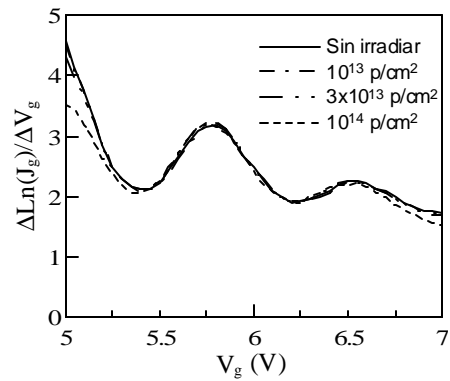


Fig. 3. Oscilaciones cuánticas en la zona de conducción Fowler-Nordheim.

III. CONCLUSIONES

Se ha comprobado que los dispositivos MOS con óxidos de puerta delgados irradiados con protones de alta energía presentan un aumento de la corriente de fugas a bajos campos, análogamente a lo observado para otras fuentes de radiación. Este fenómeno puede suponer un límite en la fiabilidad de los dispositivos microelectrónicos para aplicaciones en entornos de alta radiación.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología bajo el proyecto FPA2000-1560-C02-02.

Referencias

- ¹ M. Ceschia et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci*, vol.45, pp 566-573 (2000)
- ² A. Candelori et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci*, vol.48, pp 1735-1743 (2001)