Eficiencia de colección de carga en detectores de radiación de silicio fabricados en el IMB e irradiados con altas dosis de protones 24 GeV

C.Martínez, J.M.Rafí, M.Lozano, F.Campabadal, J.Santander, L.Fonseca, M.Ullán

Institut de Microelectrònica de Barcelona (IMB), CNM-CSIC. Campus UAB, E-08193 Bellaterra (Barcelona)

I. RESUMEN

Se han fabricado detectores de radiación de silicio en el Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB) y sometido a altas dosis de protones de 24 GeV/c en las instalaciones del Proton Syncroton (PS) en el CERN. Se trata de detectores tipo pad procesados sobre dos diferentes substratos tipo n: obleas estándar y oxigenadas "float zone" de alta resistividad. El proceso de oxigenación se efectuó en el IMB, alcanzando una concentración de átomos de oxígeno en todo el volumen del material superior a 10^{17} cm^{-3}.

Se ha estudiado la degradación de las propiedades eléctricas de estos detectores expuestos a dosis de hasta $3.3 \cdot 10^{14}$ protones/cm^2. En particular, en esta comunicación se presentan los resultados relativos a la eficiencia de colección de carga medida en las instalaciones de la Universidad de Liverpool usando ^{106}Ru como fuente radiactiva.

II. INTRODUCCION

En los últimos años, los detectores de radiación de silicio han demostrado ser extraordinariamente útiles en aplicaciones de física de altas energías, particularmente para detección de vértices y trazas de partículas. En particular, los detectores de silicio desempeñarán un papel clave en el futuro Large Hadron Collider (LHC), que se espera que esté operativo en 2005 en el CERN, cerca de Ginebra.

Una característica fundamental de este tipo de detectores en tales aplicaciones es su eficiencia de colección de carga (CCE). Ahora bien, la degradación que sufren las características eléctricas, como la CCE, por el hecho de estar operando en ambientes muy agresivos debido a las altas dosis de radiación a las que son expuestos es un asunto de máximo interés. En el SCT (Semiconductor Tracker) de ATLAS, por ejemplo, en cuya construcción participa activamente el IMB en colaboración con el IFIC (Instituto de Física Corpuscular de Valencia), se espera una dosis máxima de $2.1 \cdot 10^{14}$ neutrones (1MeV)/cm^2, que equivale a una dosis total de $3 \cdot 10^{14}$ protones (24GeV/c) /cm^2. La colaboración ROSE (R&D On Silicon for future Experiments) fue creada en el CERN en 1996 precisamente para estudiar y mejorar la tolerancia de los detectores de radiación a tales dosis de radiación. El presente trabajo se inició en el marco de esta colaboración.

III. DESCRIPCIÓN DE LOS DETECTORES DE RADIACIÓN

Los detectores de radiación que se estudian en este trabajo son diodos con un área activa de 5x5 mm^2 dotados de un anillo de guarda de 200 µm de anchura a 100 µm de distancia del área activa. El área total del detector es de 7.11x7.11 mm^2 de línea de corte a línea de corte. El procesado de los detectores se realizó en su totalidad en las instalaciones del IMB de acuerdo con tres diferentes procesos tecnológicos (A, B y C). El material inicial para los tres procesos es silicio FZ de alta resistividad (4kohm·cm, P: 10^{12} cm^{-3}) con orientación <100> y tipo n, de Topsil. El espesor de las obleas es de 280 ± 15 µm.

En el proceso A, se creció 1 µm de óxido de campo en las regiones inactivas como máscara a la implantación p^+, y un óxido de 36.5 nm en las regiones activas a fin de

efectuar las implantaciones p^+, de boro, en la zona de componentes y n^+, de fósforo, en el dorso.

En el proceso B, el óxido en las regiones activas para las implantaciones iónicas (150 nm de espesor) se obtuvo mediante grabado húmedo de un óxido inicial de 1 µm de espesor. Además, sobre el óxido de campo se mantuvo un resina a fin de proteger las zonas no activas de la implantación p^+. Después de las implantaciones, el óxido en la regiones activas se rebajó a 50 nm de espesor mediante un grabado húmedo adicional.

En cuanto al proceso C, decir que es idéntico al proceso A, sólo que oxigenando previamente el substrato hasta alcanzar una concentración de oxígeno en todo el material por encima de 10^{17} cm^{-3}. Esta oxigenación se logró mediante difusión térmica en un recocido de alta temperatura durante 48 horas a 1150ºC en ambiente inerte desde una capa gruesa de SiO_2 (600 nm) previamente crecida en ambas caras de la oblea.

El recocido del metal se realizó a 350ºC a fin de evitar la formación de donadores térmicos, cuya generación es particularmente importante a temperaturas de 450ºC en el caso de material altamente oxigenado como el utilizado en el proceso C.

IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las irradiaciones con protones se realizaron en el Proton Syncroton (PS) del CERN, utilizando protones de 24 GeV/c. Se irradiaron 12 detectores diferentes correspondientes a los 3 procesos (A, B y C) descritos previamente hasta 4 dosis de radiación diferentes: $3.08 \cdot 10^{13}$, $1.11 \cdot 10^{14}$, $2.01 \cdot 10^{14}$, y $3.31 \cdot 10^{14}$ protones/cm^2.

Los experimentos de eficiencia de colección de carga (CCE) se efectuaron en las instalaciones de la Universidad de Liverpool. Se utilizó una fuente radiactiva emisora de betas de 2 MeV: ^{106}Ru. La coincidencia de dos fotomultiplicadores Hamamatsu H6780-03 instalados sobre un centelleador a su vez ubicado sobre el detector, que a su vez se colocó sobre la fuente radiactiva, proporcionaba la señal de trigger. Los detectores se polarizaban a distintas tensiones entre 0 y 700 V, a fin de estudiar la evolución de la colección de carga con el voltaje aplicado en los distintos detectores. La señal del detector pasaba por un amplificador PHILLIPS 6954 cuya salida se insertaba en un osciloscopio de alta frecuencia.

V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

La Figura 1 muestra un pulso de intensidad registrado en el osciloscopio a la salida del amplificador tras el paso de electrones de 2 MeV de la fuente de ^{106}Ru.

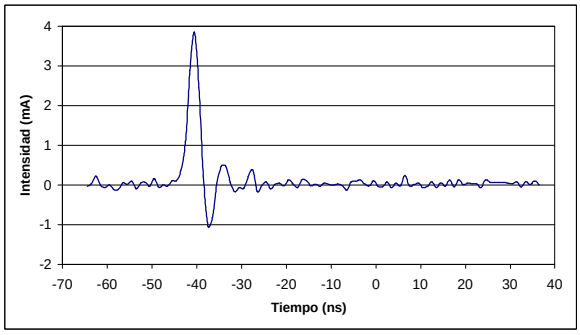

Figura 1. Pulso de intensidad registrado para un detector polarizado a 529 V correspondiente al proceso A e irradiado hasta $2.01 \cdot 10^{14}$ protones (24 GeV/c)/cm^2.

Los resultados definitivos se presentarán en las VI Jornadas de Física de Altas Energías en el marco de la XXVIII Reunión Bienal de la RSEF.