

Efecto de irradiación con neutrones sobre inversor CMOS integrado

Raúl Lisandro Martín,
Rosario, Argentina
FCEIA, UNR
rlmartin@fceia.unr.edu.ar

María Isabel Schiavon
Rosario, Argentina
FCEIA, UNR
bambi@fceia.unr.edu.ar

Félix Palumbo
CABA, Argentina
CONICET - CNEA
palumbo@cnea.gov.ar

Resumen: El presente trabajo se centra en el estudio de los efectos de la radiación originada por neutrones generados térmicamente sobre CI en tecnología MOS. Se realizaron ensayos experimentales sometiendo a radiación a un inversor comercial CMOS, con una dosis de 4.10^7 neutrones/cm²seg durante secciones de una hora de duración, capturando datos de tensión cada 10 minutos. Se presentan los resultados experimentales y las conclusiones elaboradas en cuanto a los efectos que produce este tipo de radiación sobre el funcionamiento del circuito.

Palabras claves: Irradiación con neutrones, radiación ionizante, dispositivo semiconductores, efectos radiación ionizante inversores CMOS.

I. INTRODUCCIÓN

La cantidad de radiación que los dispositivos y los materiales semiconductores reciben durante su vida útil depende en gran medida del ambiente en el que se encuentran y de sus condiciones de funcionamiento. Las principales fuentes de radiación ionizante son las partículas alfa, o núcleos del helio, generadas por decaimiento radiactivo natural de ²³²Th o ²³⁸U cuya energía de emisión oscila entre de 2MeV a 9MeV, y, principalmente, se encuentran en entornos como el espacio, ambientes naturales, reactores nucleares, fundiciones de silicio [1] [2]. Cada ambiente se caracteriza por su propio espectro de partículas y de distribución energética. El grado de daño que puede provocar este tipo de radiación depende siempre del tiempo de exposición y de la intensidad de la radiación. También puede haber interacción entre los diferentes ambientes, como por ejemplo el daño incorporado inherente durante la fabricación del dispositivo pueden afectar el funcionamiento del dispositivo durante una misión espacial. En el espacio, las principales fuentes de energía son los protones y electrones originados en el cinturón de Van Allen, iones pesados atrapados en la magnetosfera, protones e iones provenientes de rayos cósmicos y solares, y su nivel de radiación depende en gran medida de la actividad del sol, mientras que en el medio ambiente una de las fuentes significativas de radiación ionizante son las partículas alfa que provienen de impurezas radiactivas, tales como uranio, torio y productos derivados, presentes, por ejemplo, en los materiales usados para embalaje. En algunas de las diferentes fases del proceso en una fundición de Silicio, por ejemplo implantación iónica, rayos x, proceso de deposición de vapor químico y de capas del metal, se pueden producir niveles de radiación importante.

II. FUNDAMENTACIÓN

Cuando un dispositivo MOS discreto es sometido a radiación ionizante originada por neutrones generados térmicamente se producen alteraciones tanto en la tensión umbral como en la transconductancia debido a interrupciones de interfaz (Interface traps) y debido a la carga atrapada en el óxido.

Ensayos realizados sobre sendos transistores tipo P y N permitieron extraer las siguientes conclusiones, en transistores tipo P, a mayor tiempo de exposición se obtienen menores valores de corriente, en tanto que para un transistor tipo N ocurre lo contrario. En ambos tipos de transistores queda en evidencia el efecto de recocimiento (annealing effect), mientras que en el transistor canal N también se pone en evidencia el efecto de retroceso ("turn around effect"). Estos efectos producen alteraciones en la tensión umbral y más notoriamente en la transconductancia. [3]

En el presente trabajo se analizan los efectos observados cuando se somete circuitos integrados MOS de propósitos generales al efecto de una radiación de neutrones generados térmicamente. Los resultados experimentales se obtuvieron en ensayos en campo realizando mediciones sobre el circuito sometido a radiación dentro del reactor nuclear RA4 que se encuentra instalado en el ámbito de la FCEIA-UNR bajo control y dependencia de la CNEA.

Para realizar las experiencias se utilizó un circuito simple con un inversor CD4049 en una plaqueta especialmente diseñada para realizar las mediciones en campo mientras el mismo era sometido a radiación dentro del reactor en operación. Los ensayos se realizaron alimentando el inversor con una tensión de 5V de continua, y como excitación se utilizó una onda triangular de 5V de pico con una frecuencia 100Hz.

El circuito fue irradiado manteniendo el reactor en régimen crítico con un flujo de neutrones en 4×10^7 Neutrones/cm²seg. durante un total de noventa minutos. Se tomaron registros de la característica de entrada salida antes de la iniciar la irradiación y cada treinta minutos.

III. RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 1 se muestran los resultados experimentales obtenidos en el registro inicial y los registros realizados cada treinta minutos. En las figuras 2 y 3 se separan las gráficas correspondientes a los sesenta y noventa minutos para una mejor visualización.

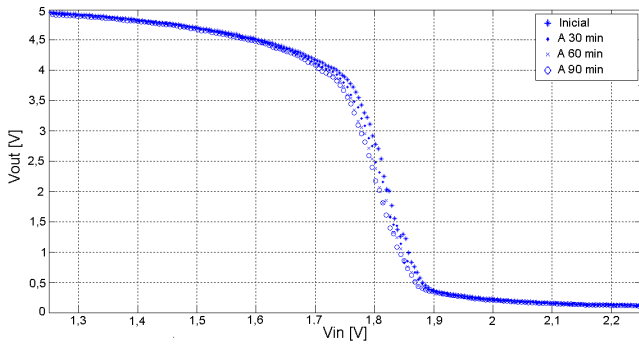


Fig. 1: Características entrada/salida del inversor CD4049 antes irradiar y al cabo de cada período de irradiación

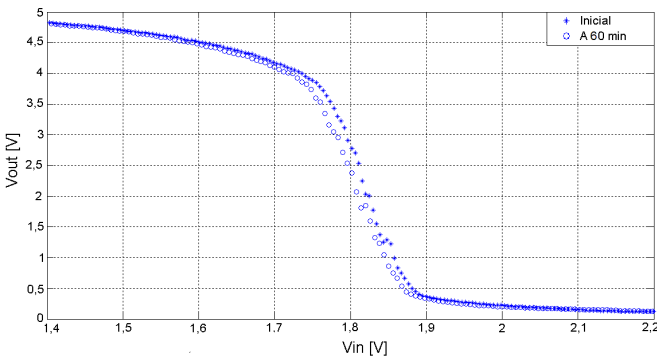


Fig. 2: Características entrada/salida del inversor CD4049 antes de irradiar y registro a 60 min

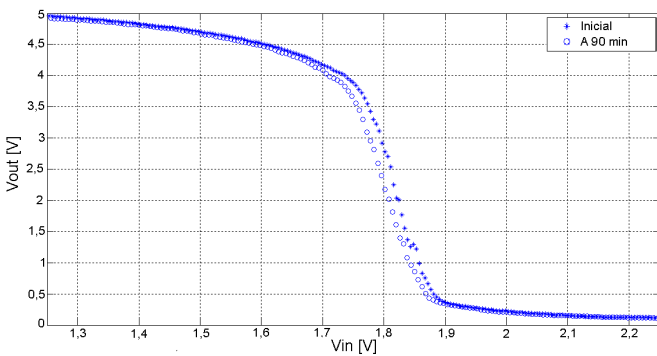


Fig. 3: Características entrada/salida del inversor CD4049 antes de irradiar y ultimo registro (90 min)

En la figura 4 se muestra una ampliación del rango de tensión en el cual se produce la conmutación del circuito

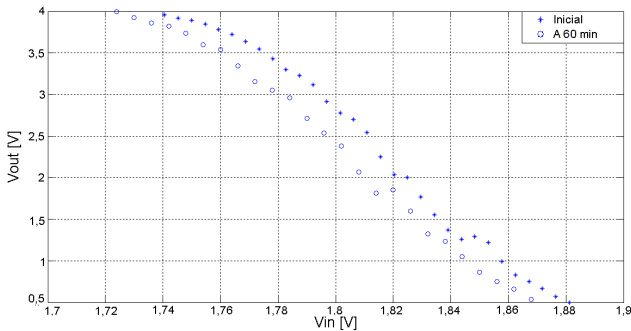


Fig. 4: Ampliación de la zona de conmutación de la característica entrada/salida del inversor CD4049 antes de irradiar y a 60 min.

La gráfica de la conmutación de bajo a alto reproduce los valores de esta gráfica. El valor de entrada en el cual se inicia la conmutación de alto a bajo disminuye un 0, 8% y el valor en que se inicia la conmutación inversa disminuye un 0, 5%.

A los efectos de contrastar resultados se realizaron simulaciones sobre sendos circuitos implementados según se muestra en la figura 5.

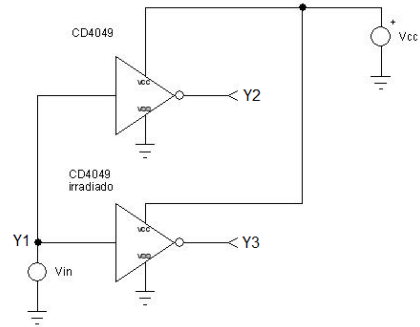


Fig. 5: Circuitos utilizados en la simulación

El circuito está compuesto por dos inversores CMOS CD4049. En el inversor de la parte superior se mantuvieron los parámetros típicos de los dispositivos que componen el inversor, mientras que en el ubicado en la parte inferior se modificaron los mismos de acuerdo a los resultados obtenidos para dispositivos discretos sometidos a radiación durante sesenta minutos.

Los parámetros típicos para el PMOS y NMOS respectivamente son: $V_{TP}=-2.9V$, $K_P=2mA/V^2$, $V_{TN}=2.1V$, $K_N=5mA/V^2$. Los parámetros modificados que se utilizaron teniendo en cuenta una irradiación durante 60 minutos son $V_{TP}=-3.0V$, $K_P=2mA/V^2$, $V_{TN}=2.0V$, $K_N=5mA/V^2$.

La tensión de alimentación (V_{CC}) se fijó en 5V y se utilizó una onda triangular de 5V de pico y una frecuencia de 100Hz como excitación (v_{in}). En la figura 5 se muestran las gráficas de tensión en función del tiempo, se distingue la onda triangular de entrada de ambos inversores y las correspondientes salidas de cada uno de ellos, la onda cuadrada en trazo lleno es la de salida del inversor con parámetros típicos, la indicada con trazo punteado es la que se obtuvo con los parámetros modificados.

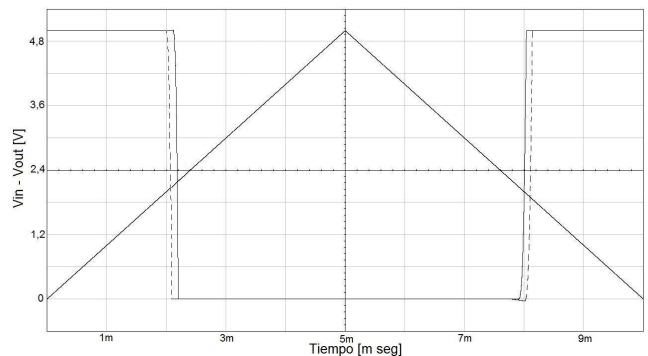


Fig. 6: Señales de entrada y de salidas
Línea llena: salida circuito parámetros típicos
Línea punteada: salida parámetros modificados

En la figura 7 se muestran las mismas gráficas poniendo en relevancia los valores que caracterizan la conmutación.

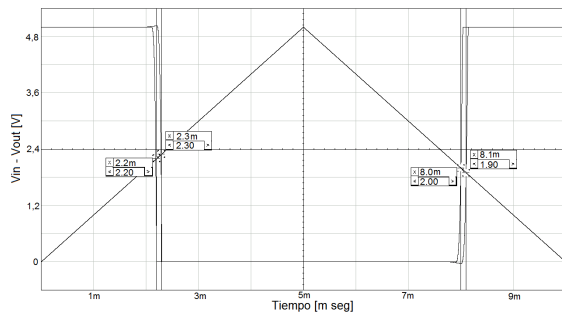


Fig. 7: Mediciones del desplazamiento de la curva por variación en los parámetros

En la figura 8 se pueden observar las características de transferencia que se obtuvieron en el simulador, la línea negra corresponde al inversor con los parámetros típicos mientras que la azul corresponde al inversor con los parámetros modificados. En este caso se aprecia un lazo de histéresis que no se detectó en las mediciones en campo.

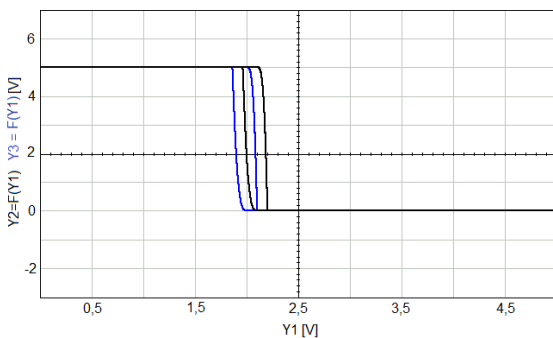


Fig. 8: Característica entrada – salida del inversor
Línea negra: parámetros típicos. Línea azul: parámetros modificados

De los resultados obtenidos por simulación se desprende que el valor de entrada en el cual la salida inicia la conmutación de alto a bajo disminuye un 4,54%, mientras que en la conmutación de bajo a alto disminuye un 5%, ambas. Se observa que la variación en valor absoluto es la misma.

IV. CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los resultados obtenidos experimentalmente y por simulación pone en evidencia que la radiación no afecta de la misma manera a un dispositivo discreto que a un dispositivo integrado. Tanto en el caso experimental como en el analizado por simulación se produce una disminución en los valores de conmutación y en el margen de ruido, pero la incidencia es menor en los resultados experimentales, permitiendo inferir que los elementos que influyen son la menor superficie irradiada y la simultaneidad en la fabricación de los dispositivos P y N en el caso del integrado.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal de operación del Reactor RA4, Ing Aldo Marenzana, Sr. José Orso y Sr. David Canossa, y al estudiante Marcio Torres por haber colaborado en la importación de datos para realizar las gráficas.

REFERENCIAS

- [1] Janet L. Barth, Senior Member IEEE, Kenneth A. LaBel, IEEE, Christian Poivey, Member IEEE. "Radiation assurance for the space environment". IEEE International Conference on Integrated Circuit Design and Technology. 2004
- [2] Fairchild Semiconductor. "2N7000/NDS7002A. N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor". 2005.
- [3] Martin, R. L.; Schiavon, M. I.; Palumbo, Felix. "Efecto de Radiación con Neutrones sobre MOSFET". III Congreso de Microelectrónica Aplicada. 2012. Rosario. Argentina.