

Efeitos de Radiação Ionizante em Transistores de Potência NMOS

Thomas H. Pschera¹, Marcilei A. Guazzelli¹

¹ Centro Universitário FEI

e-mail: unietpschera@fei.edu.br, marcilei@fei.edu.br

Resumo: Este trabalho tem como objetivo estudar os efeitos da radiação ionizante proveniente de raios-X em dispositivos eletrônicos, mais especificamente em transistores de potência HEXFETs. O objetivo é estabelecer uma correlação entre a radiação e as alterações nos parâmetros característicos dos componentes, e assim verificar a tolerância e robustez desses transistores quando submetidos a ambientes específicos, como sistemas da área aeroespacial.

2. Introdução

Os transistores de efeito de Campo Metal-Óxido-Semicondutor (MOSFETs: *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors*) de potência investigados neste estudo apresentam a capacidade de alternar altas correntes rapidamente, operando com tensões da ordem de centenas de volts em escala de nanossegundos [1]. A estrutura HEXFET é projetada para alcançar uma resistência extremamente baixa por área de silício, e isso se deve ao fato do *design* robusto no qual o dispositivo foi projetado, que pode ser observado na Fig. 1. Além disso, apresenta um baixo custo de encapsulamento, proporcionando aos projetistas um componente altamente eficiente para implementação na indústria.

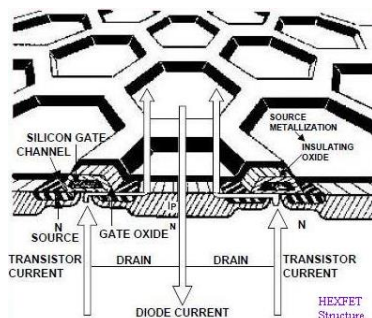


Fig. 1. Secção transversal de uma estrutura HEXFET. [1]

Transistores de potência são muito utilizados em sistemas embutidos que operam em ambientes hostis, como os encontrados em aplicações espaciais e nucleares, onde a radiação ionizante pode afetar o funcionamento dos dispositivos eletrônicos [2,3].

Os HEXFET operam quando é aplicado um campo elétrico, proveniente de uma diferença de tensão entre os terminais de porta e fonte. Isso resulta em uma corrente de elétrons fluindo entre o dreno e fonte (*N-type: drain-channel-source*). Se exposto à radiação, as características do dispositivo podem sofrer alterações que parcial ou completamente prejudicam sua funcionalidade. Os efeitos da radiação podem ser

temporários ou permanentes [2,3]. Este estudo tem como objetivo investigar o comportamento dos parâmetros característicos de um transistor de potência HEXFET em relação à dose cumulativa total de radiação ionizante (TID: Total Ionizing Dose), que é um efeito determinístico [4-5].

A Dose Total de Radiação Ionizante (TID) é caracterizada pela quantidade de energia absorvida pelo material. Um dos efeitos comuns de TID em transistores é a mudança na corrente de operação entre a fonte e dreno em função da tensão de porta. Esses efeitos são causados pelo aprisionamento de carga no óxido e armadilhados na interface entre óxido e semicondutor.

Essas mudanças podem aumentar ou diminuir a densidade de portadores no canal de condução, levando a variações na mobilidade e, conseqüentemente, na corrente. A Fig. 2 demonstra o mecanismo físico do efeito de TID em um MOSFET. Como resultado, a tensão de limiar do dispositivo é alterada, resultando em uma degradação de sua funcionalidade. [2-5].

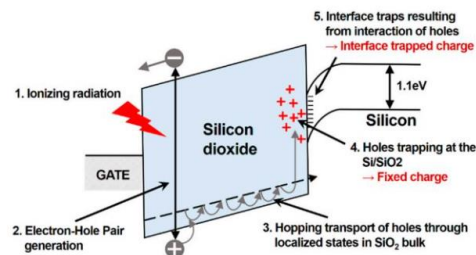


Fig 2- Dose Total Ionizante

3. Materiais e Métodos

Os transistores de potência analisados neste estudo são os HEXFET, modelo IRLZ34NPbF. Os componentes serão caracterizados antes, durante e após a exposição a um feixe de raios X com energia de 10 keV, a fim de obter curvas características de $I_{ds} \times V_{gs}$.

Será observado precisamente o aprisionamento de carga para determinar o efeito da taxa de dose na ocupação dos buracos (*hole traps*). Para o processo de irradiação, será utilizado um difratômetro de raios-X Shimadzu XRD-6100, o qual possibilita obter diferentes taxas de dose de radiação. As medições elétricas foram realizadas utilizando o analisador de parâmetros *PXI National Instruments*, de tensão e corrente. O uso desse equipamento no processo permite obter curvas características ($I_{ds} \times V_{gs}$) dos dispositivos estudados em tempo real.

Nesta fase inicial do estudo, foram empregadas duas

amostras distintas: uma contendo a camada de epoxy sobre o dispositivo (transistor 2) e outra na qual a camada de epoxy foi removida (transistor 1). O objetivo era observar possíveis alterações nos parâmetros elétricos de ambos os dispositivos, que poderiam afetar sua caracterização.

4. Resultados

Foram analisadas curvas de $I_{ds} \times V_{gs}$ (gráfico da Figura 3) a partir de três medidas realizadas com o dispositivo com epoxy com os mesmos valores de tensão e corrente, e verificou-se que, para um valor de $V_g = 5V$ e para um $V_{ds} = 5mV$ (saturação), o transistor 1 conduz com corrente de dreno de 23,02 mA, enquanto o transistor 2 permite uma passagem de corrente de 18,79 mA, um valor perto de 23% menor. O gráfico $I_{ds} \times V_{gs}$ (Fig. 3) mostra um padrão nas três medidas, dando confiabilidade e precisão nos valores obtidos para análise.

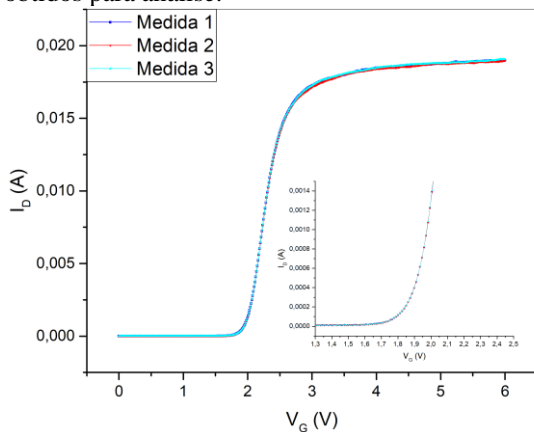


Fig. 3. Três medidas da Curva $I_{ds} \times V_{gs}$ do dispositivo 1

Também foi determinada a tensão de limiar de ambos os componentes, que apresentaram pequenos desvios nos valores. À fim de obter a tensão necessária para o acionamento do dispositivo, foi utilizado o método da segunda derivada da curva da corrente de dreno pela tensão de porta, onde o pico positivo do gráfico tem a sua coordenada abcissa sendo o valor de V_{TH} , como mostrado na Fig. 4.

Usando a ferramenta *Single Peak Fit (Origin Pro)* e adotando o método da segunda derivada, foram extraídos os valores de V_{TH} de cada uma das três curvas adquiridas para cada dispositivo, o valor médio, e o desvio padrão, apresentados na tabela 1:

Medida de 10 mV	V_{TH} (V)	Desvio Padrão (V)
Dispositivo 1	1,782	0,0102
Dispositivo 2	2,044	0,0049

Tabela 1 – Medidas de tensão de limiar

Como resultado, percebe-se uma diferença de 12,8% na tensão de limiar entre os dispositivos. Além dessa discordância, é perceptível que o desvio padrão do primeiro componente (o qual está sem a proteção) é aproximadamente o dobro do outro. Uma hipótese na qual explica essa diferença do desvio padrão se deve à

ausência do epoxy no transistor 1, medida que apresentou um ruído maior quando comparada ao outro dispositivo analisado.

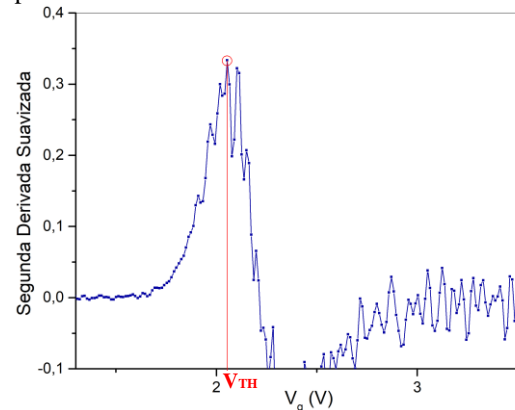


Fig. 4. Segunda derivada do gráfico $I_{ds} \times V_{gs}$ do dispositivo 2

5. Conclusão

Através da análise de dois dispositivos, um com proteção de epoxy e outro sem, notou-se uma pequena variação nos valores de V_{TH} , apresentando um pequeno desvio padrão, indicando que a metodologia é efetiva para esta caracterização. No prosseguimento deste trabalho, a análise de um maior número de amostras será realizada, submetendo os dispositivos aos efeitos da radiação ionizante por meio de um feixe de raios X. Os dados serão coletados de acordo com a dose total acumulada no dispositivo, assim como a mudança nos parâmetros característicos serão analisados. Efetivamente, foram realizadas as caracterizações de dispositivos antes de serem expostos a radiação, verificando a reprodutibilidade dos resultados e eficiência do método de extração de parâmetros característicos, como tensão de limiar, essenciais para a confiabilidade de resultados neste estudo.

6. Referências

- [1] "HEXFET vs MOSFET | difference between HEXFET and MOSFET". RF Wireless Vendors and Resources | RF Wireless World. <https://www.rfwirelessworld.com/Terminology/HEXFET-vs-MOSFET.html> (consult. 2023-02-27).
- [2] JOHNSTON, Allan. Reliability and radiation Effects in Compound Semiconductors. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., California Institute of Technology, USA, 2010.
- [3] MAVIS, D. and D. ALEXANDER. Employing Radiation Hardness with Commercial Integrated Circuit Processes, Proc. of AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference, pp. 2.1-15, 2.1-22, 1997.
- [4] R. O. Brasil e J. H. Leal-Cardoso, "An optically coupled power stimulus isolation unit with high voltage and fast rise time output", *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, vol. 32, n.º 6, pp. 767-771, junho de 1999. Consult. 2023-02-27.
- [5] BÓAS, A. C. V; DE MELO, M. A. A. ; SANTOS, R. B. B. ; GIACOMINI, R. C.; MEDINA, N. H.; SEIXAS, L. E. ; PALOMO, F. R.; GUZZELLI, MARCILEI A. . Assessment of Ionizing Radiation Hardness of a GaN Field-Effect Transistor. In: 2019 34th Symposium on Microelectronics Technology and Devices (SBMicro), 2019, Sao Paulo. 2019.