

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, verificando, assim, a tolerância e robustez desses transistores quando submetidos a ambientes hostis, como sistemas da área aeroespacial.

2. Introdução

Os transistores de efeito de Campo Metal-Oxido-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 *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.

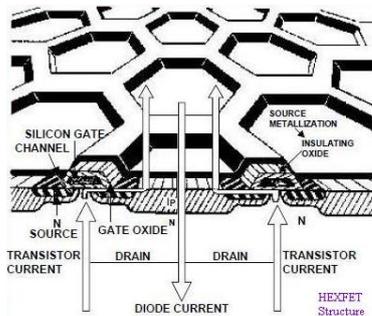


Fig. 1. Seção transversal de uma estrutura HEXFET. [1]

Transistores de potência são muito utilizados em sistemas embarcados 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].

Se exposto à radiação, as características do dispositivo podem sofrer alterações que parcial ou completamente prejudicam sua funcionalidade, de forma temporária ou permanente [2,3]. Este estudo tem como objetivo investigar o comportamento dos parâmetros característicos de um HEXFET em relação à dose cumulativa total de radiação ionizante (TID: Total

Ionizing Dose), que é um efeito determinístico [4-4].

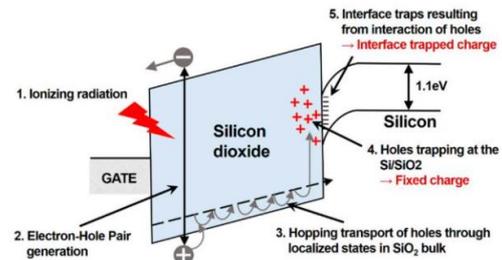


Fig 2- Dose Total Ionizante

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 os terminais do transistor. 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 Figura 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. [2-4].

3. Materiais e Métodos

Os transistores de potência analisados neste estudo são os HEXFET, modelo IRLZ34NPbF. Um deles foi exposto a um feixe de raios X de energia efetiva de 10 keV por um período de 3 horas com o objetivo de acumular uma dose total de 300 krad. Foram realizadas três medições a cada 20 minutos para verificar a reprodutibilidade dos dados e a evolução dos efeitos com o tempo.

Foi observado precisamente o aprisionamento de carga possibilitando avaliar o efeito da taxa de dose na ocupação dos buracos (*hole traps*). O uso de um difratômetro de raios-X Shimadzu XRD-6100 possibilitou obter diferentes taxas de dose de radiação. As medições elétricas e aquisição foram extraídas utilizando o analisador de parâmetros *PXI National Instruments*. O uso desse equipamento no processo permite obter curvas ($I_{ds} \times V_{gs}$) dos dispositivos em tempo real.

Importante ressaltar que o dispositivo foi posicionado a uma distância de 112 cm durante a

experiência, com o auxílio de uma câmera auxiliar e um sistema de posicionamento automático, garantido a homogeneidade do capo de irradiação.

4. Resultados

Ao analisar as curvas $I_{ds} \times V_{gs}$ obtidas antes, durante e depois do experimento, uma mudança significativa foi observada entre o primeiro e segundo valor de tensão de limiar no dispositivo, resultando em uma discrepância de aproximadamente 6 V, com seu valor diminuindo em duas vezes. O dispositivo perde sua funcionalidade especificamente após acumular uma Dose Total Ionizante (TID) de 33 krad, momento em que começa a conduzir com uma tensão negativa.

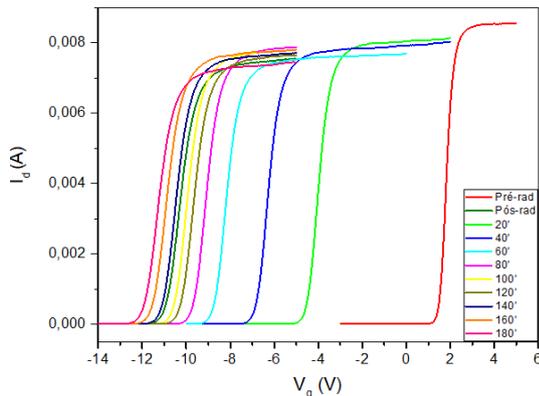


Fig. 3. Curvas $I_{ds} \times V_{gs}$ do dispositivo para diferentes TID acumuladas.

Com os dados das curvas de $I_{ds} \times V_{gs}$, foi utilizado o método da primeira derivada para extrair os valores e mudanças da transcondutância (g_m) (Fig. 5). Após a medida dos 20 minutos (33krad acumulado) notou-se uma diminuição na mobilidade dos portadores em 95%, que por consequência aumentou o valor da resistência intrínseca de dreno (r_{ds}) do componente, como mostra a tabela 1.

Tempo (min)	g_m (S)	Incerteza	r_{ds} (Ω)
0	0,146	0,009	6,85
20'	0,0080	0,0002	125,31
40'	0,0073	0,0003	136,80
60'	0,0069	0,0006	145,77
80'	0,0066	0,0002	147,93
100'	0,0068	0,0005	148,15
120'	0,0067	0,0006	147,71
140'	0,0064	0,0006	156,01
160'	0,0062	0,0007	161,81
180'	0,0057	0,0004	174,52
Pós	0,0066	0,0005	151,06

Tabela 1. Valores de g_m , incerteza e r_{ds} durante o exp.

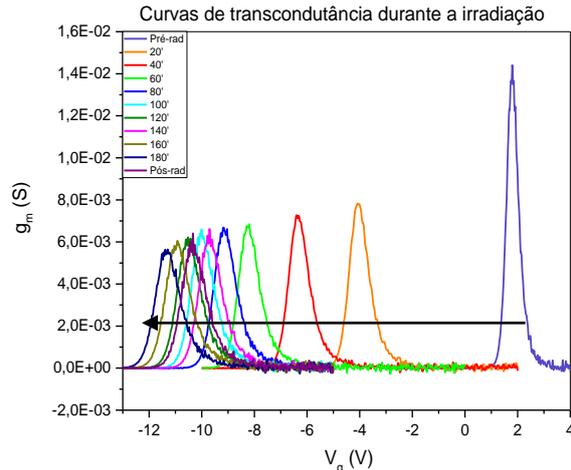


Fig. 4. Curvas de Transcondutância em função da tensão aplicada na porta.

5. Conclusão

Durante o desenvolvimento deste trabalho, estudamos a influência da radiação em NMOSFETs com o objetivo de analisar possíveis modificações nos parâmetros característicos do dispositivo. Nosso objetivo foi estimar a interferência da radiação no mecanismo de aprisionamento de cargas, que poderia alterar a tensão de limiar, fornecendo informações valiosas sobre suas aplicações. Este estudo é essencial para compreensão de como a radiação interage com os materiais do dispositivo, alterando suas propriedades características elétricas. Ademais, permitiu uma definição da metodologia de teste e a preparação da placa contendo o dispositivo para exposição aos efeitos da dose total de radiação ionizante (TID). Após a exposição inicial à radiação, acumulando até 300 krad no componente, observamos uma variação de quase 8,5% na tensão de limiar, juntamente com uma diminuição no valor da transcondutância. Os próximos passos envolvem o estudo do comportamento do dispositivo após *annealing* em temperatura ambiente, seguido pela segunda exposição à radiação, considerando diferentes parâmetros de corrente e energia do feixe.

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] BÓAS, A. C. V; et al., 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.

Os autores agradecem a FEI, ao INCT-FNA, CNPq proc. n. 464898/2014-5; proc. n. 303295/2022-8, N. 408800/2021-6