

# Caracterização Elétrica de Transistores de Potência do tipo Trench por TID

Ana L. Q. Guidi<sup>1</sup>, Alexis C. V. Bôas<sup>2</sup>, Marcilei A. Guazzelli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluna de IC do Centro Universitário FEI

<sup>2</sup> Departamento de Física, Centro Universitário FEI  
e-mail: unieaguidi@fei.edu.br, marcilei@fei.edu.br

**Resumo:** Esse projeto consiste no estudo da robustez dos circuitos comerciais (COTS - *Commercial off-the-shelf*), especificamente transistores de potência, quanto aos efeitos da dose total ionizante (TID). Os dispositivos foram expostos a um feixe de raios X de 10 keV, tendo um acúmulo total de 300 krad(Si). Os resultados indicam que este dispositivo é sensível aos efeitos cumulativos da dose de radiação.

## 1. Introdução

O transistor comercial Trench MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) estudado tem uma estrutura que apresenta uma área menor, se comparado aos transistores planares MOSFET convencionais [1]. Ele é um dispositivo da tecnologia U-MOS (*U-Shape Metal Oxide Semiconductor*) FET (*Field Effect Transistor*), podendo ser visualizado na figura 1. Ele possui um canal de resistência ultrabaixo ( $\leq 4\text{m}\Omega$ ), polarização na porta e uma capacidade de tolerar maiores correntes devido ao seu processo de fabricação que tem trincheiras gravadas no silício com óxidos de porta molduradas ao longo das paredes laterais do Trench (trincheira) e uma camada inferior maior de óxido [2,3,4].

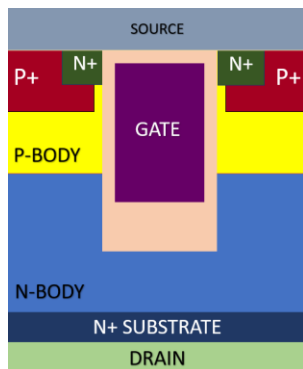


Figura 1 – Corte transversal da estrutura do Trench MOSFET [1].

O efeito do TID é caracterizado pelo acúmulo de dose total no dispositivo, principalmente causada pelo aprisionamento de cargas nas camadas de óxido e interfaces [4]. Como o transistor tem uma extensa e espessa camada de óxido ao redor da porta, o dispositivo é considerado um candidato para os danos severos do TID. Nesse sentido, este trabalho apresenta o comportamento do transistor comercial Trench MOSFET antes, durante e após a aplicação das doses de radiação ionizante, tendo um acúmulo de 300 krad(Si).

## 2. Materiais e Métodos

O transistor de potência comercial analisado nesse estudo foi o TRENCHT3 *HiperFET Power MOSFET* IXFA220N06T3. Esse dispositivo foi caracterizado antes durante e após a exposição de um feixe de raios X de 10 keV. As curvas características  $I_{Dx}V_G$  e  $I_{Dx}V_D$  foram adquiridas em dois diferentes modos de polarização, MODO ON ( $V_{GS}=5\text{ V}$  e  $V_{DS}=0\text{ V}$ ) e o MODO OFF ( $V_{GS}=V_{DS}=0\text{ V}$ ). No processo de radiação dos dispositivos foi utilizado o difratômetro Shimadzu XRD-7000 operando em uma taxa de dose de 100 krad(Si)/h [5].

Nesse trabalho foram caracterizados dois dispositivos, um em MODO ON e outro em MODO OFF. A caracterização foi feita em dois passos, no primeiro passo o dispositivo teve um acúmulo de 100 krad(Si) seguido de uma semana de *room thermal annealing* (R.T.A). No segundo passo o dispositivo acumulou uma dose de 300 krad(Si), seguido novamente do R.T.A.

Um sistema portátil da *National Instruments* chamado NI-PXIe-1062Q foi usado para a caracterização elétrica do dispositivo, antes, durante e depois da exposição da radiação. A voltagem para caracterização entre a fonte e o dreno ( $V_{DS}=10\text{ mV}$ ) foi aplicada nos dois modos, enquanto a voltagem de caracterização da porta ( $V_{GS}$ ) no MODO ON variou entre -1 V a 10 V e no MODO OFF entre -7 V a 4.3V. As medições foram caracterizadas a cada 10 minutos.

## 3. Resultados

Durante a parte experimental, foram obtidas as curvas caracterizadas  $I_{DSx}V_{GS}$ . Analisando a primeira derivada dessas curvas, foi possível observar o comportamento da transcondutância ( $g_m$ ), tanto com o dispositivo no MODO ON, como no OFF, as quais estão apresentadas na figura 2. É notório que o comportamento das curvas varia com a taxa de dose que o dispositivo acumula durante o tempo de radiação. As curvas de  $g_m \times V_G$  estão apresentadas na figura 3, onde nota-se um deslocamento para a esquerda, tendo variações menores entre a referência no MODO OFF e maiores no MODO ON.

No MODO OFF a maior variação em relação a referência (0 krad) foi de 51,17% com 300 krad acumulados, enquanto no MODO ON foi de 59,27% com 265 krad acumulados. Isso mostra que quando o dispositivo está em estado ligado, ocorre maior mudança na eficácia do controle da tensão de porta sobre a corrente de dreno. Isso acontece pois existe uma maior quantidade de elétrons circulando entre os terminais de Dreno e Fonte. Logo, as possibilidades de

mais elétrons ficarem aprisionados no óxido aumentam, diminuindo assim a eficiência do controle de corrente no canal.

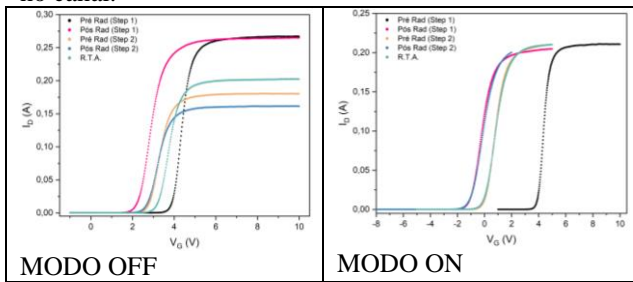


Figura 2 – Curva  $I_D \times V_G$  no MODO OFF (esquerda) e no MODO ON (direita).

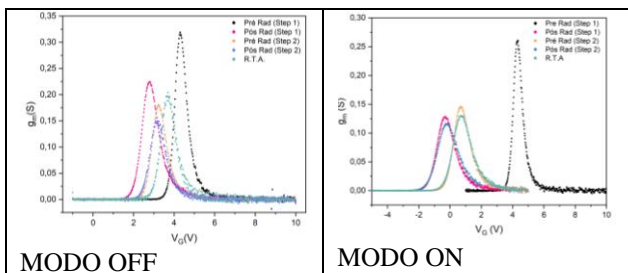


Figura 3 – Curva  $g_m \times V_G$  no MODO OFF (esquerda) e no MODO ON (direita).

Na figura 4 é apresentado com mais detalhes a variação da máxima transcondutância em relação a dose acumulada.

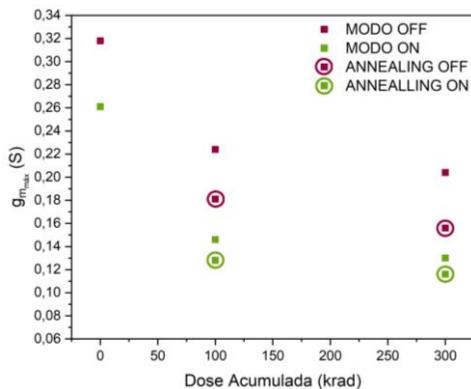


Figura 4 – Transcondutância máxima em função do TID.

Durante os dois processos de R.T.A. os dispositivos tiveram uma recuperação com uma variação considerável em comparação a última curva caracterizada (pós-rad). Isso ocorreu pelo fato das cargas aprisionadas serem liberadas das armadilhas, estabelecendo um novo estado de equilíbrio. Dessa maneira a variação entre o primeiro R.T.A. e o segundo existe, pois, cada dispositivo tem variações entre o reagrupamento de cargas.

#### 4. Conclusões

Ao analisar os resultados das caracterizações, é fato que o MODO OFF apresentou menores danos em

comparação ao MODO ON, além de apresentar melhor recuperação no R.T.A.

O transistor Trench sob o feixe de raios X apresentou grandes variações no MODO ON, pois o dispositivo em seu estado ligado tem maiores concentrações de elétrons no canal de porta, tornando mais provável o aprisionamento de buracos no óxido. Enquanto no MODO OFF, o dispositivo apresentou menores danos, pois com o dispositivo desligado, não existia a formação de um canal de elétrons entre o dreno e a fonte, possibilitando um acúmulo menor de cargas no óxido.

O transistor, tanto no MODO OFF quanto no MODO ON, apresenta danos na sua eficiência, isso ocorreu, pois, a sua estrutura de fabricação contém uma grande camada de óxido nas paredes da porta, tornando o dispositivo propenso a maiores danos.

Tendo em vista os resultados, mesmo o transistor tendo uma área de fabricação menor se comparada aos transistores planares, a existência de uma grande camada de óxido de porta torna o dispositivo sensível a radiações de efeito TID.

#### 5. Referências

- [1] Williams R. K, et al., “The Trench Power MOSFET: Part I—History, Technology, and Prospects” IEEE Trans. On E, Sci., vol. 55, no. 6, pp. 674-691, March. 2017.
- [2] S. Liu et al., “Analysis of Commercial Trench Power MOSFET’s Responses to Co60 Irradiation” IEEE Trans. Electron Devices, vol. 64, no. 3, pp. 3231-3236, Dec. 2008.
- [3] L. Ma, et al., “New trench MOSFET technology for DC-DC converter applications,” in Proc. IEEE 15th Int. Symp. Power Semiconductor Devices and ICs, May 2003, pp. 354–357.
- [4] SILVEIRA, M. A. G, et al. “Electric field and temperature effects in irradiated MOSFETs.” In: THERMOPHYSICS 2016: 21st International Meeting, 2016, Terchova. DOI: 10.1063/1.4955374.
- [5] A. C. V. Bôas et al. “Ionizing radiation hardness tests of GaN HEMTs for harsh environments.” Microelectronics Reliability, Vol. 116, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2020.114000.d>

#### Agradecimentos

Agradeço o suporte financeiro das instituições: FEI 2021/2022; FAPESP, Brasil 17/18181-2; SPRACE; FINEP, Brasil Proc. 01.12.0224.00; INCT-FNA, Brasil Proc. 464898/2014-5; Projeto CITAR. Além da orientação dos professores Marcilei Guazzelli, André Perin e a ajuda do Alexis C. V. Bôas e do Paulo R. Garcia Junior.

<sup>1</sup> Aluna de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 10/2021 a 09/2022.