

Caracterização elétrica de transistores de potência sob efeito de radiação ionizante - TID

Paulo Roberto Garcia Junior¹, Marcilei Aparecida Guazzelli², André Luiz Perin³

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI

² Departamento de Física, Centro Universitário FEI

³ Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI
uniepajunior@fei.edu.br, andreperin@fei.edu.br

Resumo: Esta pesquisa apresenta um estudo a respeito da robustez dos transistores de potência quando sujeitos aos efeitos da radiação ionizante TID - *Total Ionizing Dose* (Dose Total Ionizante).

Nesta pesquisa, foram caracterizados dois transistores MOSFET do tipo N de estrutura TRENCH enquanto expostos a um feixe de raios X de 10 keV de energia até acumular 300 krad(Si). Os resultados da pesquisa, indicam que o dispositivo é muito sensível à radiação ionizante.

1. Introdução

O transistor MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) analisado nesta pesquisa possui uma estrutura diferente dos transistores convencionais [1], sua área útil é menor em virtude da sua estrutura de trincheira, o terminal de porta é vertical e possui uma camada grossa de óxido ao redor deste terminal, conforme apresentado na figura 1. Mais detalhes sobre a estrutura podem ser encontrados na referência [1].

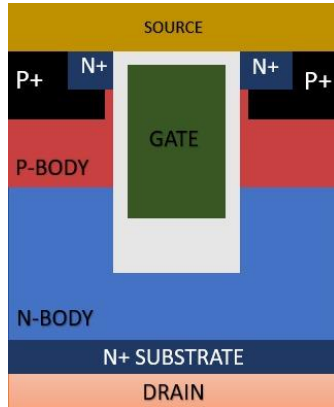


Figura 1 – Seção Transversal de um transistor TRENCH onde a camada em torno da porta (*gate*) é de óxido.

O efeito da TID é caracterizado pelo acúmulo de dose no dispositivo, ocasionada principalmente pelo aprisionamento de cargas dentro do óxido e nas interfaces entre óxido e silício. Devido a extensa camada de óxido existente ao redor do terminal de porta, esse transistor é um forte candidato a sofrer danos por efeitos acumulativos de dose [2].

Desta forma, esse projeto apresenta o estudo da análise de dois dispositivos caracterizados antes, durante e após a exposição à radiação de raios X de 10 keV de energia, até o acúmulo de 300 krad(Si).

2. Materiais e métodos

O dispositivo utilizado nesse estudo foi o transistor comercial TRENCH3 HiperFET Power MOSFET IXFA220N06T3. Sendo ele caracterizado antes, após e durante a exposição a um feixe de raios X de 10 keV. Com isso, foram extraídas as curvas e $I_D \times V_{GS}$ em dois modos diferentes de irradiação. O primeiro modo foi chamado de ON MODE, para o qual o V_{GS} foi mantido em 5 V (polarizado) e o V_{DS} mantido em 0 V. Já o segundo modo, foi nomeado de OFF MODE e nele todos os terminais foram aterrados, ou sejam, $V_{ds} = V_{gs} = 0$ V [3]. Para o processo de irradiação, foi utilizado um difratômetro Shimadzu XRD-7000, operando em uma taxa de dose de 100 krad(Si)/h.

Neste estudo, dois dispositivos foram caracterizados, um em cada modo de operação. A caracterização foi feita em dois passos, sendo o primeiro feito até o dispositivo acumular 100 krad(Si) e após isso o dispositivo ficou em repouso no laboratório sem interferência externa, apenas efeito da temperatura ambiente do laboratório, sofrendo assim um RTA (*Room Temperature Annealing* - Estabilização em Temperatura Ambiente).

Em seguida, o dispositivo voltou a ser irradiado até acumular uma dose de 300 krad(Si) seguido por mais uma semana de RTA.

Para a caracterização elétrica do dispositivo, foi utilizado o sistema da *National Instruments* NI-PXIe-1062Q para aquisição de dados da corrente em função da tensão de porta antes, durante e após a irradiação. A diferença de tensão entre o dreno e a fonte foi mantido em 10 mV para os dois modos, já a diferença de tensão entre a porta e a fonte foi diferente em cada modo para uma melhor visualização das curvas extraídas, sendo essa variação de -1,0 V a 10,0 V para o OFF MODE e -7,0 V a 4,3V para o ON MODE. No início do ON MODE, o intervalo era o mesmo do OFF MODE, mas como o deslocamento das curvas foi alto ele foi reajustado para os valores descritos. As medidas foram extraídas em intervalos de 10 minutos.

3. Resultados

As curvas características da $I_{DS} \times V_{GS}$, obtidas a partir da irradiação dos dispositivos nos modos ON e OFF, estão apresentadas nas fig. 2 e 3.

É possível observar que todas as curvas sofreram um deslocamento, sendo esse deslocamento mais acentuado no modo ON, uma vez que o dispositivo começou a conduzir com valores negativos de V_{GS} .

Os parâmetros de trabalho do dispositivo foram alterados devido as cargas aprisionadas no óxido do dispositivo, principalmente devido a sua estrutura de trincheira (TRENCH), que possui grandes áreas de óxido

ao redor do terminal do *gate*, o acúmulo de cargas no óxido é favorecido.

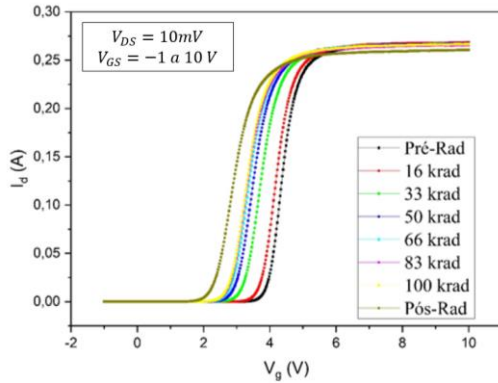


Figura 2 - Curvas I_{D_S} x V_{G_S} no modo OFF

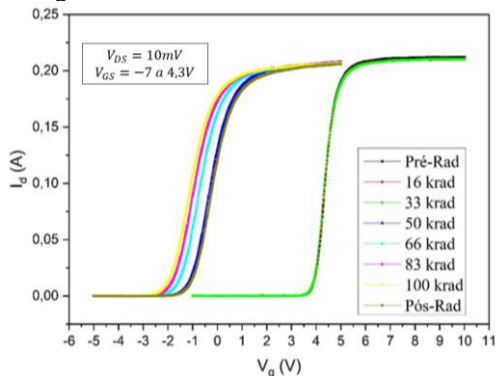


Figura 3 - Curvas I_{D_S} x V_{G_S} no modo ON

Pelo método da extrapolação da curva $\log_{10}(I_{D_S}) \times V_{G_S}$ foram obtidos os dados da corrente de fuga para ambos os modos de caracterização, conforme mostrado na figura 4 [4].

Pela extrapolação os valores da corrente foram obtidos quando $V_G < 0$ V.

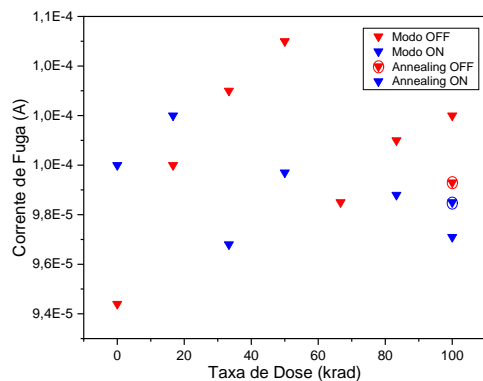


Figura 4 - Corrente de fuga nos modos ON e OFF

É possível observar que mesmo com o acúmulo de 100 krad de dose, não foi uma dose significativa a ponto de alterar de forma considerável o valor da corrente de fuga do dispositivo.

Olhando apenas para o modo OFF do dispositivo, a maior variação percentual foi de 10,10% em relação ao valor inicial, já para o modo ON a maior variação foi de 7,99%.

Por mais que sejam porcentagens altas, a corrente encontra-se numa escala muito baixa, em torno de 10^{-4} A a 10^{-5} A, ou seja, não é uma variação alta a ponto de

aumentar consideravelmente o consumo de energia do transistor, mas pode-se afirmar que houve um aumento do gasto de energia durante a irradiação e com uma semana de estabilização em temperatura ambiente (RTA – *Room Temperature annealing*) os parâmetros já começaram a se estabilizar.

4. Conclusões

De acordo com os resultados da caracterização, pode-se dizer que durante o modo OFF o dispositivo teve uma melhor recuperação dos seus parâmetros originais em relação ao dispositivo do modo ON.

O transistor TRENCH submetidos a doses de TID durante a operação do modo ON apresenta maior quantidade de cargas em deslocamento entre os terminais de fonte e dreno. Quando essas cargas em trânsito são energizadas, os elétrons podem ganhar energia suficiente para saltar para a camada de óxido, onde ficam aprisionadas.

Apesar de ter uma menor área de fabricação, o TRENCH-MOS possui uma camada de óxido mais extensa em torno da região do *gate* em relação ao MOS convencional, o que resulta em mais defeitos no óxido.

Analisando os dados referentes a corrente de fuga, o dispositivo apresentou uma melhor recuperação no modo OFF de caracterização, após o RTA. Além disso, os dispositivos apresentaram um aumento do consumo de energia. Esse aumento, está atrelado ao aumento da corrente de fuga dos transistores, entretanto esse aumento não é significativo para influenciar no funcionamento do dispositivo, uma vez que o aumento de corrente foi em uma escala muito pequena, não ultrapassando 1×10^{-5} A.

Por fim, pode-se concluir que o transistor TRENCH MOS, apresentou diferenças negativas quando submetido a doses de radiação ionizante, mostrando variações em seus parâmetros elétricos, tendo uma tendência de ser mais sensível à radiação ionizante quando comparado a um MOS convencional [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] 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>
- [4] J.A. Martino, M.A. Pavanello, P.B. Verdonck. Caracterização Elétrica de Tecnologia e Dispositivos MOS. Thomson. São Paulo. 2003.
- [5] Felipe G. C. Efeito de Raios-X em Transistores MOSFETs. Centro Universitário FEI. São Bernardo do Campo. 2015.

Agradecimentos

Agradeço o suporte financeiro das instituições: FEI 2021/2022; SPRACE; FINEP, Brasil Proc. 01.12.0224.00; INCT-FNA, Brasil Proc. 464898/2014-5; Projeto CITAR.