

EFEITOS DA DOSE IONIZANTE TOTAL NA FUNCIONALIDADE DE TRANSISTORES MOSFETS

Daniel Baraldi¹, Alexis Cristiano Vilas Bôas¹, Profa Dra. Marcilei A. Guazzeli da Silveira¹

¹Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI

baralddaniel121@gmail.com, marcilei@fei.edu.br

Resumo: O projeto consiste em estudar os efeitos da radiação ionizante sobre dispositivos MOSFETs de um mesmo lote de fabricação, de forma a obter um trabalho estatístico da variação da tensão de threshold nos dispositivos. Neste projeto também foi possível observar o aumento da tensão nos dispositivos tipo N e a diminuição nos dispositivos tipo P devido ao aprisionamento de cargas no dispositivo.

1. Introdução

Dispositivos eletrônicos estão presentes no cotidiano e são essenciais para as mais diversas aplicações. A exposição desses dispositivos à radiação ionizante pode provocar danos que alteram as propriedades de caracterização do dispositivo, modificando os parâmetros elétricos e, no caso de memórias ou processadores, alteram as informações armazenadas. A partir deste problema, o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos resistentes à radiação e a sua qualificação quanto a serem mais ou menos tolerantes aos efeitos da radiação ionizante se tornam necessários, requerendo pessoal qualificado, com conhecimento específico dos mecanismos físicos atuantes nos dispositivos quando expostos à radiação [1].

A partir deste trabalho, foi possível correlacionar os mecanismos físicos responsáveis pelos efeitos da radiação nos dispositivos com as alterações nos parâmetros característicos, gerando capacitação de engenheiros elétricos nesta área estratégica para o Brasil.

2. Metodologia

Neste trabalho estão sendo utilizados sete dispositivos comerciais (COTS – *commercial off-the-shelf*) CD4007, compostos por 3 transistores tipo N e 3 tipos P cada. Para a exposição à radiação, o Centro Universitário da FEI conta com um equipamento X-Ray Diffractometer XRD-6100 Shimadzu, com tubo de cobre, que possibilita a variação da corrente de feixe entre 2 mA e 50 mA e a tensão de 20 kV a 60 kV. Para a obtenção de gráficos, foi utilizado o software OriginLab juntamente com o equipamento de caracterização PXI - National Instruments.

Foram realizadas medições em cada um dos transistores antes da exposição à radiação, de forma a se obter gráficos ID X VD e ID X VG. Foi utilizado o método da segunda derivada para calcular a tensão de threshold ou tensão de limiar e também a tensão de Early nos dispositivos. A partir disso, foi feito um trabalho estatístico de forma a se obter a média e o desvio padrão para os tipos P e N de transistores do lote estudado [2].

Os dispositivos foram irradiados com uma taxa de dose constante de 40 krad/h, buscando chegar a um total de 40 krad acumulado, variando os tempos de exposição. Com isso, foi possível gerar novos gráficos, comparando-os com os anteriores e realizando novas médias e novos desvios após um dia da exposição, em *annealing* em temperatura ambiente, e também após a estabilização.

3. Resultados

Como é possível perceber nas tabelas I e II, a irradiação causou uma grande variação na tensão de *threshold* dos dispositivos, que contribui de forma muito mais acentuada no tipo P.

Tabela I – Valores Médios e Desvio Padrão antes da Irradiação

V _{TH} do Tipo P (V)	V _{TH} do Tipo N (V)
Média: -3,15	Média: 1,24
Desvio Padrão: 0,41	Desvio Padrão: 0,18
Incerteza: 13%	Incerteza: 15%

Tabela II - Valores Médios e Desvio Padrão após Irradiação de 40 krad

V _{TH} do Tipo P (V)	V _{TH} do Tipo N (V)
Média: -7,30	Média: 2,50
Desvio Padrão: 0,72	Desvio Padrão: 0,31
Incerteza: 10%	Incerteza: 12%

A variação entre as tensões um dia após a irradiação (*annealing* térmico em temperatura ambiente) e após a estabilização entre as tensões de threshold podem ser vistas nas figuras 1 e 2, que indicam, respectivamente a variação na tensão em transistores do tipo P e N.

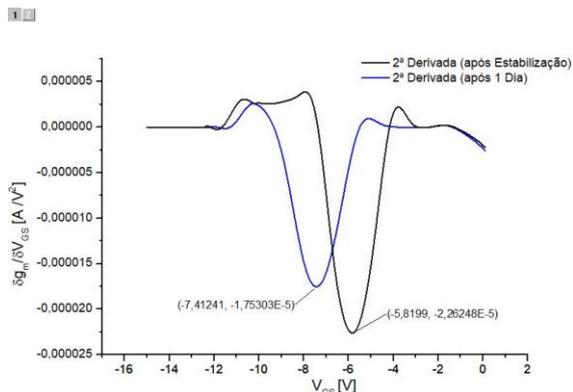


Figura 1 – Gráfico da segunda derivada e V_{TH} do CI 1, tipo P (1), após 1 dia e após estabilização

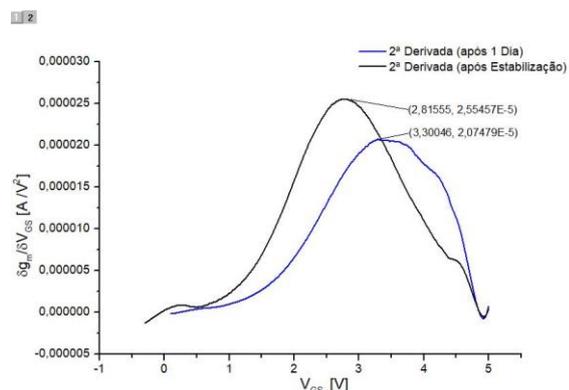


Figura 2 - Gráfico da segunda derivada e V_{TH} do CI 1, tipo N (4), após 1 dia e após estabilização

A tensão de Early também pode ser calculada e mostrou uma variação indicada na tabela III, que mostra um grande aumento no tipo P e um aumento menos perceptível no tipo N.

Tabela III – Tensão de Early antes e após Irradiação

Tipo do Transistor	Tensão de Early antes da Irradiação (V)	Tensão de Early após Irradiação (V)
Tipo P	$ V_A _{MÉDIO}$ 44 (6)	$ V_A _{MÉDIO} =$ 62 (16)
Tipo N	$ V_A _{MÉDIO}$ 54 (16)	$ V_A _{MÉDIO} =$ 55 (16)

4. Conclusões

Através das medições feitas antes e depois da exposição à radiação, com os valores de V_{TH} dos transistores, foi possível perceber uma maior variação na tensão de limiar do tipo P, que apresentou uma diferença, em

média, de 4,15 V. Enquanto isso, o tipo N apresentou uma diferença de 1,27 V, em média. Foi possível, então, notar que o tipo N teve menor variação devido à diminuição de V_{TH} para, após isso, haver aumento. Como no tipo P apenas houve aumento (em módulo), a variação com o tempo de exposição à radiação foi muito maior.

Isso se deve ao aprisionamento de cargas na interface, que ocasiona uma maior dificuldade em criar canal no tipo P, devido às cargas positivas aprisionadas contribuírem para a não formação do canal.

É possível perceber que a tensão de Early antes e depois nos transistores apresenta diferenças. Após a irradiação, há um aumento em V_A , como esperado. Esse aumento é muito maior no tipo P, uma vez que a variação na tensão de limiar também foi superior nesse tipo. Com o aumento da tensão V_{TH} , a tensão de Early, por consequência, também aumenta.

É possível perceber como a incerteza antes da irradiação é de 13% para os tipos P e 15% para os tipos N. Após a irradiação, o valor do tipo P se torna 10% e o tipo N 12%. Isso demonstra como os métodos utilizados são fundamentados.

5. Referências

[1] JOHNSTON, Allan. Reliability and radiation Effects in Compound Semiconductors. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., California Institute of Technology, USA. 2010.

[2] SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. Microeletrônica. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2000.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário da FEI pela realização das medidas e empréstimo de equipamentos e ao INCT.

¹Aluno de IC do Centro Universitário FEI, CNPq. Número sequencial: 12.218.291-8. Projeto com vigência de 08/17 a 08/18.