

SIMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DO EFEITO DE AUTO AQUECIMENTO EM TRANSISTORES SOI MOS

Felipe Jeferson de Souza, Michelly Souza

Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI

fj.souza100@gmail.com e michelly@fei.edu.br

Resumo: Os transistores SOI (*Silicon-On-Insulator*) apresentam grandes vantagens em comparação com os dispositivos MOS convencionais. No entanto, o calor gerado pelo fluxo de corrente encontra uma barreira à sua dissipação no óxido enterrado devido à baixa condutividade térmica em relação ao silício afetando assim a corrente de dreno. Neste trabalho, foi realizada simulação numérica, considerando o aquecimento na rede a fim de analisar a ocorrência deste efeito em transistores com diferentes comprimentos de canal.

1. Introdução

O transistor SOI (*Silicon-On-Insulator*), apresentado na Fig. 1, permite uma grande densidade de integração, quando comparado ao transistor MOS convencional. Existem algumas vantagens notáveis oferecidas por estes dispositivos, tais como aumento da mobilidade e transcondutância, diminuição das capacitâncias parasitárias e supressão do efeito tiristor parasitário [1]. No entanto, o óxido enterrado dificulta a dissipação do calor gerado pelo processo de condução da corrente de dreno, degradando a mobilidade dos portadores e causando alterações nas características elétricas do dispositivo [2].

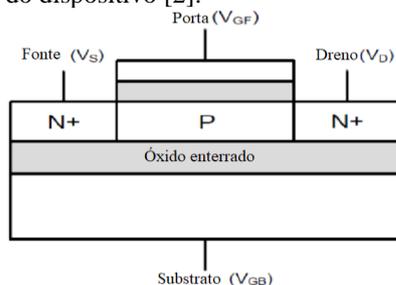


Figura 1 - Seção longitudinal de um SOI nMOSFET.

A corrente de elétrons que flui do dreno para a fonte fornece energia térmica suficiente para romper a estrutura atômica, gerando uma onda de vibração, responsável pela transmissão da energia térmica. Como o caminho médio livre para os fônons é definido como o ponto máximo de propagação para a onda de silício nos transistores SOI, o caminho médio livre para os fônons é menor devido ao óxido enterrado e à miniaturização dos dispositivos [3]. Assim, o fônon não tem sua energia térmica totalmente consumida [4]. O auto aquecimento na região do canal devido à potência não dissipada degrada a mobilidade dos portadores e, conseqüentemente, há uma redução da corrente de dreno na região de saturação, conforme esquematicamente

representado na Fig. 2 [5]. À medida que os dispositivos SOI se tornam mais curtos e com camada de Si mais finas, o auto aquecimento se torna mais pronunciado. À medida que a temperatura diminui, há um aumento na mobilidade, aumentando a corrente de dreno e conseqüentemente elevando a temperatura do corpo do transistor [6]. Neste trabalho é apresentado um estudo de auto aquecimento em transistores SOI através de simulações numéricas, variando o comprimento de canal e temperatura.

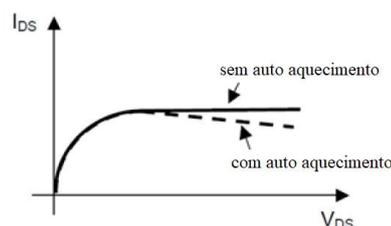


Figura 2 - Curva esquemática indicando a ocorrência do efeito de auto aquecimento.

2. Simulações Numéricas

Simulações numéricas bidimensionais de transistores SOI nMOSFET foram realizadas com diferentes condições de polarização e temperaturas utilizando o simulador Atlas, da Silvaco [7]. As simulações foram realizadas com e sem auto aquecimento, com diferentes comprimentos de canal (L) de 1, 2 e 3 μm . A corrente de dreno em função da tensão de dreno foi obtida com a tensão de porta ($V_{GT} = V_{GF} - V_T$, sendo V_{GF} a tensão de porta e V_T a tensão de limiar) de 1, 2 e 3V. Simulações em diferentes temperaturas, entre 150K e 300K foram realizadas, para analisar o efeito da temperatura no efeito de auto aquecimento. Os transistores simulados apresentam tais características: concentrações de dopantes nas regiões de fonte e dreno (N_D) de $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, canal de $N_A = 6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, com espessura da camada de silício $t_{si} = 80 \text{ nm}$, espessura do óxido de porta $t_{oxf} = 31 \text{ nm}$ e espessura de óxido enterrado $t_{oxb} = 390 \text{ nm}$.

3. Resultados e Discussão

Foram apresentadas ao longo deste trabalho simulações para transistores SOI nMOSFET com comprimento de canal $L = 1 \mu\text{m}$, pois nas simulações onde o comprimento de canal foi de $2 \mu\text{m}$ e $3 \mu\text{m}$ o efeito de auto aquecimento foi menor e por esse motivo não foram aqui descritas.

O efeito de auto aquecimento dificilmente pode ser observado na curva $I_D \times V_{DS}$ apresentada na figura 3 tal

efeito tem um impacto maior na corrente de dreno na região da saturação. Para V_{GT} de 1.0V e 2.0V as curvas de corrente praticamente se sobrepõem, já para V_{GT} de 3.0V uma pequena diferença pode ser observada devido ao auto aquecimento. A figura 4 mostra a distribuição da temperatura interna no transistor com $L = 1\mu\text{m}$. Pode-se notar que, devido à presença do óxido enterrado, o calor encontra uma maior dificuldade para se dissipar e se concentra na região entre o canal e o dreno devido ao campo elétrico máximo.

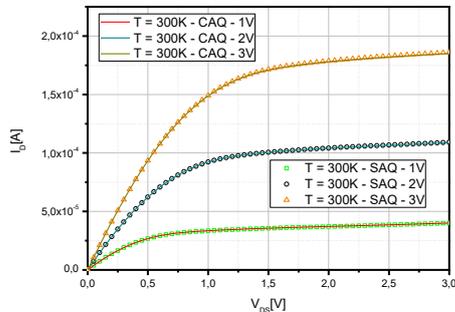


Figura 3 – Simulação da curva $I_D \times V_{DS}$ com e sem auto aquecimento para diferentes tensões de porta ($V_{GT} = 1.0\text{V}$, 2.0V e 3.0V)

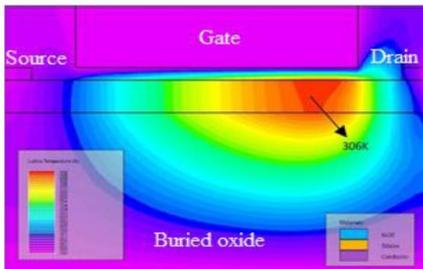


Figura 4 - Distribuição da temperatura na estrutura de um transistor SOI nMOSFET com $L=1\mu\text{m}$ e V_{GT} de 3.0V com $T=300\text{K}$.

Comparando as curvas com e sem auto aquecimento a diferença entre as correntes se torna pequena, devido ao efeito de auto aquecimento que altera o valor da corrente de dreno na saturação. Como pode ser observado na figura 5.

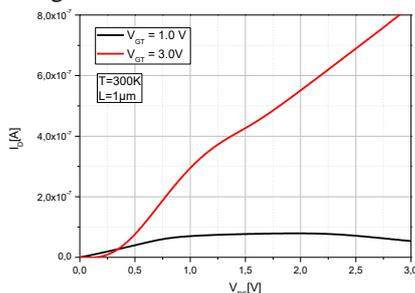


Figura 3 - Variação da corrente de dreno devido ao efeito de auto aquecimento para $V_{GT} = 1.0\text{V}$ e 3.0V

Quanto maior I_D mais intenso é o efeito do auto aquecimento, pois com a elevação da temperatura a mobilidade é degradada e I_D diminui como apresentado na figura 6. As curvas de condutância de saída mostraram menor inclinação e uma pequena diferença entre elas à medida que a tensão de dreno aumenta, como apresentado na figura 7.

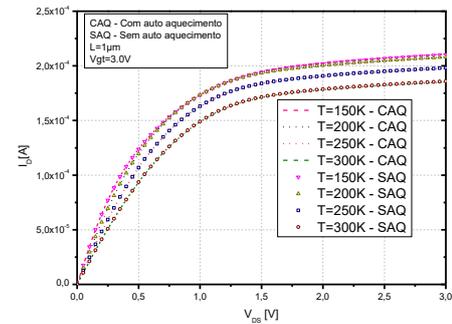


Figura 6 - Corrente de dreno por tensão de dreno para diferentes temperaturas de simulação com V_{GT} de 3.0V e $L=1\mu\text{m}$.

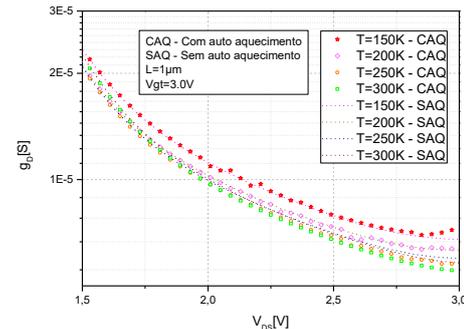


Figura 7 – Condutância de saída por tensão de dreno para diferentes temperaturas de simulação com V_{GT} de 3.0V e $L=1\mu\text{m}$.

4. Conclusões

Os resultados mostraram que à medida que a temperatura aumenta há uma diminuição na corrente de dreno principalmente na região de saturação. O efeito torna-se acentuado em dispositivos com canal curto pois o calor gerado pela potência dissipada aumenta a temperatura na região de canal degradando a mobilidade e assim alterando a corrente de dreno. Observa-se que a transcondutância diminui com o aumento da temperatura pois esta degrada a mobilidade dos portadores e assim afeta a vibração dos fônons. Os resultados mostram que as curvas de condutância de saída apresentam menor inclinação à medida que a temperatura aumenta.

5. Referências

- [1] M. Yoshimi et al.. *Electronic letters*, v.24, n.17, p. 1078-1079, 1988.
- [2] Brunetti, Claudia. *Influência do Auto-Aquecimento na Característica I-V de Transistores MOS/SOI*. 1997. Tese (Mestrado) – EPUSP.
- [3] S.Makovej et al.. *IEEE Transactions On Electron Devices*, [s.l.], v. 60, n. 6, p.1844- 1851, jun. 2013. (IEEE).
- [4] JU, Y. S.; GOODSON, K. E.. *Applied Physics Letters*, [s.l.], v. 74, n. 20, p.3005-3007, 17 maio 1999. AIP Publishing.
- [5] R. J. T. Bunyan.. in: *ieee colloquium on sub-micron vlsi reliability*, 1., 1992, London. London: Iet, 1992. p. 1 - 4.
- [6] K.Oshima et al.. *Solid-state Electronics*, [s.l.], v. 48, n. 6, p.907-917, jun. 2004.
- [7] *Atlas User's Manual: Device Simulation Software*. Silvaco International: Santa Clara, 2011.

1 Aluno de IC do Centro Universitário FEI (com bolsa CNPq). Projeto com vigência de 08/18 a 08/19.