

Estudo do fator de corpo para diferentes tecnologias MOS: BULK, PDSOI e FDSOI

Alex G. Reimberg¹, Natasha Merzbahcer¹, Arianne S. N. Pereira¹

¹Departamento de Engenharia Elétrica

Centro Universitário FEI

alex.reimberg@outlook.com; ariannesoares@fei.edu.br

Resumo: O objetivo deste trabalho é fazer uma análise comparativa da tensão limiar, da inclinação sublimiar e do fator de corpo de três estruturas tecnológicas MOS (*Metal Oxide Semiconductor*): BULK, PDSOI e FDSOI em função do comprimento do canal. A análise foi baseada nos resultados da simulação numérica bidimensional. Os resultados apresentam vantagens em relação aos efeitos de canal curto para o dispositivo FDSOI em relação ao PDSOI e ao BULK, mostrando que a redução da espessura da camada de silício melhora o acoplamento eletrostático do dispositivo.

1. Introdução

Transistores são dispositivos muito utilizados na indústria devido à sua abrangência de funções. Dentre as aplicações podemos vê-lo atuando como amplificador, chave, porta lógica, dentre outras funcionalidades [1]. Os dispositivos BULK passaram por mudanças para poder se adequar a demanda de transistores menores, já que estavam sofrendo demasiadamente por efeito de canal curto (*Short Channel Effects – SCE*) [2]. Uma maneira de reduzir a influência das depleções de fonte na região do canal foi a utilização da tecnologia SOI (*Silicon On Insulator – Silício Sobre Isolante*) [3] que consiste na criação de uma área de óxido enterrado (BOX), que isola a região ativa do restante do substrato. Uma das estruturas estudadas é o PDSOI (*Partial Depleted – Parcialmente Depletado*) e o FDSOI (*Fully Depleted – Totalmente depletado*), dispositivos similares na questão estrutural, porém existe uma diferença entre eles que se trata do tamanho da camada de silício (t_{Si}), o PD possui o t_{Si} maior que o X_{dmax} (Região máxima alcançada pela zona de depleção) enquanto o FD apresenta menor [3]. Neste trabalho, o objetivo é realizar uma análise comparativa de transistores *bulk* e SOI com diferentes características e comprimentos de canal. A análise será baseada nos resultados de simulações numéricas realizadas no software Atlas, da Silvaco [4].

2. Simulação Numérica

A. Características dos dispositivos

Na figura 1 é apresentada a estrutura SOI, onde t_{OX} é a espessura de óxido de porta, t_{Si} é a espessura do filme de silício e t_{BOX} é espessura de óxido enterrado e L é o comprimento de canal. E para o dispositivo BULK a diferença seria a não existência do óxido enterrado. As dimensões dos dispositivos são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das estruturas MOS.

	t_{OX} (nm)	t_{Si} (μm)	t_{BOX} (nm)
BULK	31	2	--
PDSOI	31	0.32	400
FDSOI	31	0.08	400

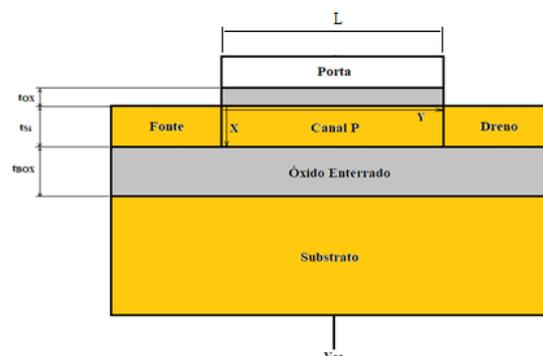


Figura. 1 – Estrutura SOI

Para os dispositivos simulados, utilizamos em comum as seguintes características: comprimento de canal (L) de 1, 2 e 3 μm , canal tipo-p apresentando uma concentração de dopantes (N_A) de $6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, dreno e fonte de tipo-n com uma concentração de dopantes (N_D) de $4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Utilizado temperatura ambiente (300K) e o modelo físico para mobilidade foi usado o Klassen e Shirahata, SRH (Shockley-Read-Hall) para recombinação de portadores, BGN para estreitamento de bandgap. Todos os modelos físicos foram usados com os parâmetros padrão, conforme implementado no simulador de dispositivo Atlas [4].

B. Características Elétricas

As simulações foram realizadas com baixa tensão de dreno ($V_{DS}=50\text{mV}$), tensão de substrato nula ($V_{G2}=0\text{V}$) e tensão de porta variando de 0 e aumentando para 3,0V.

A figura 2 mostra as curvas $I_{DS} \times V_{GS}$ dos três dispositivos para três comprimentos de canal distintos, onde é possível observar a dependência da corrente de dreno com o comprimento de canal.

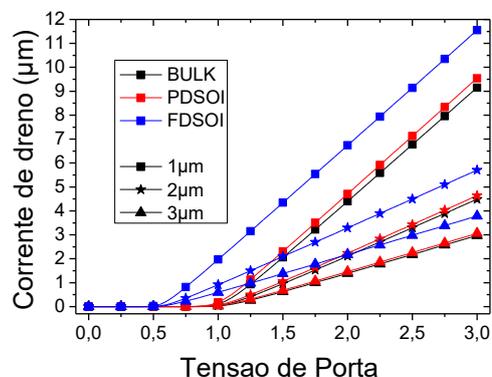


Figura. 2 – Corrente de dreno em função da tensão de porta para diferentes estruturas MOS e comprimentos de canal de 1, 2 e 3 μm .

3. Resultados Obtidos

A Figura 3 apresenta os valores de tensão limiar em função do comprimento de canal. Os valores de V_T foram extraídos usando o método da derivada da transcondutância [5]. A tensão limiar é um parâmetro que depende da tecnologia, portanto, para a mesma tecnologia, espera-se que os valores sejam constantes com o comprimento do canal. A redução no V_T com canal de $2\mu\text{m}$, indica que os dispositivos estão sofrendo de canal curto (SCE) [3]. E notamos que os dispositivos PDSOI e BULK, possuem valores muito similares entre si.

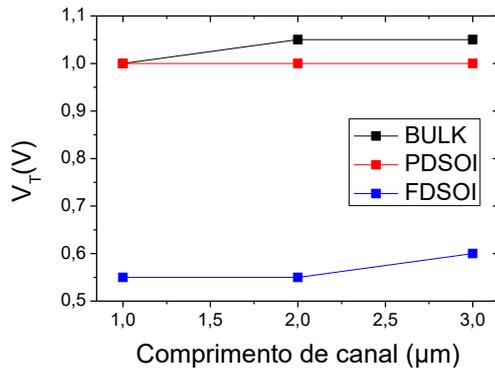


Figura 3 – Tensão de limiar em função do comprimento de canal para o BULK, PDSOI e FDSOI.

Os valores de inclinação sublimiar (S) e de fator de corpo (n) foram extraídos das curvas apresentadas na figura 3, utilizando a definição do inverso da variação da corrente com a tensão de porta na região de sublimiar [2].

O fator do corpo (n) representa o acoplamento entre as interfaces do transistor. É descrito pela associação de capacitâncias entre a porta e os terminais do substrato. Seu valor ideal é a unidade é adimensional. E para a extração do valor de n , utilizamos os valores de S , através de equação (1) [6]:

$$S = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln(10) \cdot n \quad (1)$$

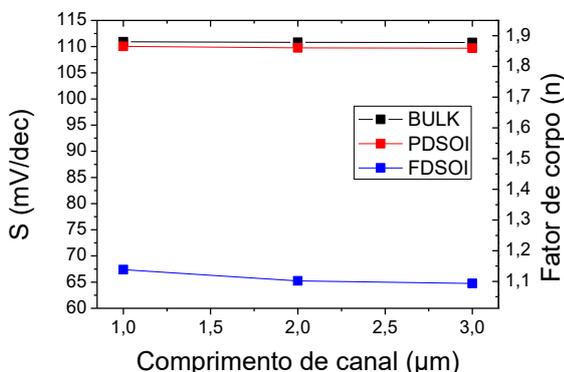


Figura 4 – Inclinação sublimiar (S) e fator de corpo (n) em função do comprimento de canal para o BULK, PDSOI e FDSOI.

Nota-se que o PDSOI e o BULK, apresentam os desempenhos digitais similares, seguindo a forma de extração apresentada na equação (2) [3]. O FDSOI foi o melhor

dispositivo, apresentando os menores valores e mais próximos do teórico, 60mV/dec (3) [3].

$$n_{PD} = 1 + \frac{C_D}{C_{OX}}, \text{ onde } C_D = \frac{\epsilon_{Si}}{x_{dmax}} \quad (2)$$

$$n_{FD} = 1 + \frac{\epsilon_{Si} \cdot t_{BOX}}{\epsilon_{OX} \left(t_{Si} \cdot \frac{\epsilon_{OX}}{t_{BOX}} + \epsilon_{Si} \right)} \quad (3)$$

Foi feita também uma outra comparação, em relação aos dispositivos FDSOI, UTB e UTBB, dispositivos com menores escalas que estudam melhor a influência das espessuras [7], e futuramente será adicionado um estudo da influência da espessura do óxido enterrado.

4. Conclusões

Este estudo analisou a influência do comprimento de canal no desempenho digital dos dispositivos BULK, PDSOI e FDSOI. Os parâmetros analisados foram a tensão limiar, inclinação de sublimiar e o fator de corpo.

Em relação ao fator de corpo, notamos que a estrutura FDSOI possui melhor acoplamento para os valores analisados, enquanto o BULK e FDSOI alcançaram valores maiores que 1,8.

Houve a confirmação dos dados com a referência [3] do Colinge, onde o dispositivo BULK e PDSOI possuem várias características similares, nos resultados das extrações de dados, como podemos notar na extração da inclinação sublimiar, eles apresentam uma certa tendência análoga.

Na análise comparativa entre os dispositivos, é possível concluir que a redução do t_{Si} é capaz de levar uma melhora significativa no dispositivo, podendo reduzir o valor da inclinação sublimiar de aproximadamente 110mV/dec para 70mV/dec , nas situações que aplicamos, além de enfatizar a influência da espessura do filme de silício, onde o dispositivo de menor escala se saiu muito melhor em relação aos demais.

5. Referências

- [1] SEDRA, A. S.; SMITH K. C. Microeletrônica. 5. Ed, volume único, Pretience Hall, 1997.
- [2] SZE, S. M. Physics of Semiconductor Devices. New York: John Wiley & Sons, 1981.
- [3] COLINGE, J. P. Silicon-On-Insulator Technology: Materials to VLSI. 3. ed. Boston:Kluwer Academic, 2004.
- [4] ATLAS USER's Manual, Version 5.19.20 R, 2010.
- [5] H. S. Wong et al. "Modeling of transconductance degradation and extraction of threshold voltage in thin oxide MOSFET's". Solid-State Electronics, St. Louis, v. 30, pp. 953-968, 1987.
- [6] J. R. Brews, "Subthreshold behavior of uniformly and nonuniformly doped longchannel MOSFET". IEEE Transactions on Electron Devices, Piscataway, v. 26, pp. 1282-1291, October 1979.
- [7] REIMBERG, A. G.; Influence of body and BOX thicknesses on the digital performance of FDSOI devices, Chip in Sampa: SForum2019.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário FEI pela infraestrutura e suporte financeiro para realização do projeto de pesquisa de iniciação científica PBIC 009/ 19.