

# TÉCNICA DE BOMBEAMENTO DE CARGAS PARA EXTRAÇÃO DAS ARMADILHAS DE INTERFACE EM TRANSISTORES MOS SEM JUNÇÕES

Ewerton Teixeira da Fonte<sup>1</sup>, Renan Trevisoli Doria<sup>2</sup>, Rodrigo Trevisoli Doria<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eng. Elétrica, Centro Universitário da FEI

<sup>2</sup> CECS, Universidade Federal do ABC

unieefonte@fei.edu.br, rtdoria@fei.edu.br

**Resumo:** Um estudo dos transistores SOI MOS sem junções é apresentado neste trabalho, com foco na extração das armadilhas de interface, usando o método de bombeamento de cargas. Considerando-se que não existem trabalhos desta natureza para transistores MOS sem junção, a iniciativa desta pesquisa foi tomada.

## 1. Introdução

A grande necessidade presente na indústria da microeletrônica é a miniaturização de dispositivos, que vem tomando cada vez mais a importância em estudos de novas tecnologias e métodos para caracterizá-las, visando alcançar as necessidades existentes. Com a tecnologia Metal-Óxido-Semicondutor (MOS), deu-se um grande passo para esta finalidade.

Com a redução do tamanho dos dispositivos, certos problemas apareceram, como a perda do controle da corrente de dreno ( $I_d$ ) em função da tensão de porta ( $V_{gs}$ ), chamado efeito de canal curto, onde uma de suas características é a redução da tensão de limiar ( $V_{th}$ ) e alterações na inclinação de sublimiar. A tecnologia Silício-sobre-isolante (SOI), veio como uma maneira de reduzir tais efeitos presentes nos circuitos, sendo que esta tecnologia consiste em isolar a região de canal da região de substrato, com uma camada de óxido enterrado. Também como solução para estes efeitos, dispositivos com mais de uma porta foram desenvolvidos, chamados de transistores de múltiplas portas. Por existir mais de uma porta, é possível aumentar o controle eletrostático, assim o efeito de canal curto é reduzido. Além disso, a formação de múltiplos canais de inversão, permite o aumento na corrente elétrica fornecida pelos dispositivos. Contudo quando o comprimento de canal ( $L$ ) é reduzido abaixo de 20 nm, sua fabricação é de extrema dificuldade, devido ao controle de dopagem nas regiões de fonte e dreno. As junções entre fonte/dreno e canal deve ser abrupta, evitando que os dopantes difundam-se lateralmente para região do canal [1].

Um outro problema enfrentado nos dispositivos de tecnologia MOS é a presença de defeitos na região de porta, também chamadas de armadilhas. Estas armadilhas por sua vez são impurezas ou ligações atômicas incompletas existentes entre as camadas de material semicondutor e o isolante, dando origem a interações indesejadas entre portadores existentes nesta área, afetando o comportamento elétrico do dispositivo [2].

Novas tecnologias foram desenvolvidas, com o intuito de resolver o problema da miniaturização de

dispositivos, sendo uma delas o transistor sem junções (JNT). Essa nova estrutura possui múltiplas portas e sua composição de dopantes na região ativa é constante do início da fonte ao final do dreno, como visto na figura 1 [3].



Figura 1 – Seção transversal do JNT.

Os transistores JNTs apresentam um modo de condução diferente dos transistores modo inversão, conduzindo em regime de depleção parcial e/ou acumulação, de modo que o canal pode ser formado longe das interfaces. Assim, torna-se importante o estudo das armadilhas de interface no comportamento elétrico destes dispositivos.

Neste trabalho, será adaptado para o JNT, o método de bombeamento de cargas (*charge pumping*) usado em transistores MOS para a extração da densidade de armadilhas de interface. Esse método consiste na aplicação de uma tensão pulsada na porta do dispositivo, a qual gerará uma corrente de substrato que está relacionada à densidade de armadilhas [4]. Inicialmente, simulações bidimensionais serão feitas visando a aplicabilidade do método, e os resultados serão discutidos ao longo deste trabalho.

## 2. Metodologia

Os materiais utilizados em simulações e testes para o desenvolvimento deste trabalho estão disponíveis no Centro Universitário FEI. Para as simulações numéricas do dispositivo será utilizado o Sentaurus Device e o Sentaurus Structure Editor, para a realização das curvas do tipo  $I \times V$  e  $I \times t$ . As curvas experimentais serão obtidas através do analisador de parâmetros semicondutores Keysight B1500, microprovador Cascade REL 3600.

## 3. Resultados

As características físicas do dispositivo proposto para a simulação são  $L = 1$  [ $\mu\text{m}$ ], espessura da camada de silício ( $t_{si}$ ) de= 10 [nm], espessuras das camadas de

óxido de porta ( $t_{OX}$ ) e enterrado ( $t_{BOX}$ ) de= 1,3 [nm] e, 100 [nm], concentração de dopantes ( $N_d$ ) de =  $7 \times 10^{18}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ] e  $T = 300$  [K]. Com o efeito das armadilhas, serão comparados os gráficos de  $I_d$  vs.  $V_g$ , para determinar suas influências. A figura 2 mostra as curvas  $I_d$  vs.  $V_g$  para diferentes densidades de armadilhas ( $N_{it}$ ), onde pode-se afirmar que conforme  $N_{it}$  aumenta, o valor da corrente de dreno diminui significativamente, tornando assim o dispositivo mais lento.

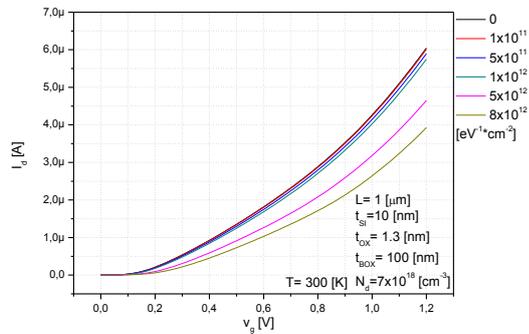


Figura 2 – Curvas  $I_d$  vs.  $V_g$  considerando diferentes densidades de armadilhas de interface.

A figura 3 apresenta o resultado da simulação da derivada segunda de  $I_d$  em função de  $V_g$  para diversas densidades de armadilhas. É possível notar que a tensão de limiar, dada pelo primeiro pico da curva, aumenta 80 [mV], comparando o valor de referência com o valor para uma densidade de armadilhas de  $8 \times 10^{12}$  [ $\text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ]. No caso da tensão de faixa plana (segundo pico da curva), o valor referente a simulação para uma densidade de  $8 \times 10^{12}$  [ $\text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ] não foi possível extrair, já que os limites estabelecidos foram extrapolados, contudo o valor aumenta em 150 [mV], até o último valor extraído, o qual tem uma densidade de armadilhas de  $5 \times 10^{12}$  [ $\text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ].

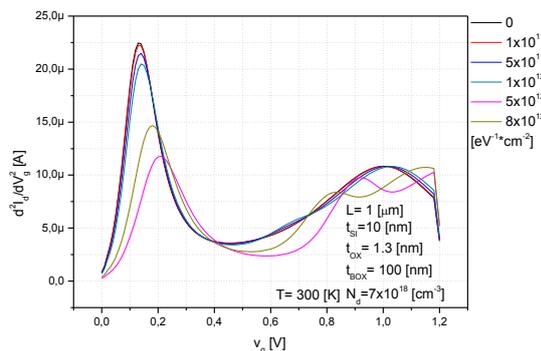


Figura 3 – Tensão de limiar e faixa plana com influência de armadilhas.

A figura 4 é o resultado da simulação de  $I_d$  vs. tempo para diversas densidades de armadilhas. A corrente de bombeamento estudada é a descrita na curva a partir de 600 [ns] até 1,09 [ $\mu\text{s}$ ]. Nesse intervalo, conforme a densidade de armadilhas aumenta, o valor da corrente também aumenta variando 5 décadas do valor de

referência até uma densidade de  $8 \times 10^{12}$  [ $\text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ]. Isso ocorre pela influência no aumento da capacitância do dispositivo, gerado pelas armadilhas de interface existentes no dispositivo.

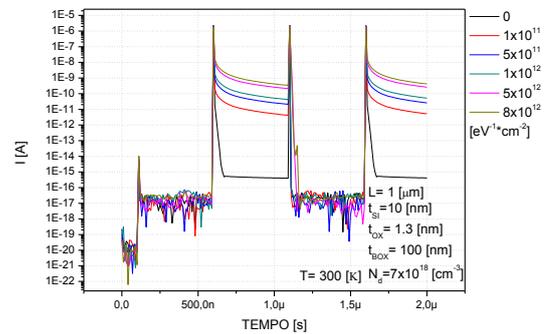


Figura 4 – Curva de  $I_d$  vs. tempo para dispositivos com diferentes densidades de armadilhas de interface.

#### 4. Conclusões

Os resultados das simulações efetuadas nesse trabalho demonstram a influência que as armadilhas têm na corrente de dreno, com uma queda considerável em seu valor, conforme a concentração de armadilhas aumenta.

Em resposta a análise das simulações, é possível afirmar que o método de bombeamento de cargas é capaz de mostrar que há diferença na corrente de bombeamento estudada, para diversas densidades de armadilhas. A próxima etapa é testar o método em dispositivos já fabricados e verificar se as curvas obtidas podem indicar a presença de armadilhas no dispositivo.

#### 5. Referências

- [1] DORIA, Renan Trevisoli. Operação e modelagem de transistores MOS sem junções. 2013. 196 f. Teste (Doutor em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.bv.fapesp.br/pt/publicacao/78677/operacao-e-modelagem-de-transistores-mos-sem-juncoes/>. Acesso em: 05 agosto 2017.
- [2] COLINGE J. P, COLINGE C. A. Physics of Semiconductor Devices, Kluwer Academic Publishers 2002.
- [3] COLINGE, J. P. et al., Nanowire transistors without junctions, Nature Nanotechnology, Vol. 5, No. 3, pp. 225-229, 2010.
- [4] BRUGLER J. S.; JESPER S. P. G. A. Charge pumping in MOS devices. IEEE Transactions on Electron Devices, vol-16, p 297, 1969.

#### Agradecimentos

À instituição Centro Universitário da FEI pelo empréstimo de equipamentos. Aos Professores Dr. Rodrigo Trevisoli Doria e Renan Trevisoli Doria por orientarem este trabalho. A Roberta Sgarioni Pereira por auxiliar o desenvolvimento deste artigo. A minha família por todo o apoio e reconhecimento.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário. Projeto com vigência de 08/17 a 07/18.