

# EXTRAÇÃO DA TENSÃO DE LIMIAR EM TRANSISTORES MOS

Salomão Victor de Souza<sup>1</sup>, Renan Trevisoli<sup>2</sup> Rodrigo Trevisoli Doria<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI

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

salomaovictor@hotmail.com, rtdoria@fei.edu.br

**Resumo:** Este artigo tem como objetivo comparar diferentes métodos de extração da tensão de limiar, como os métodos baseados na segunda derivada da corrente de dreno, com o método baseado na curva da transcondutância pela corrente de dreno, procurando verificar a proximidade entre eles. Serão estudados os transistores na tecnologia Silício-sobre-Isolante.

## 1. Introdução

Os transistores da tecnologia Metal-Óxido-Semicondutor são amplamente utilizados em circuitos atuais, tanto analógicos como digitais. Entretanto, com a redução das dimensões, visando aumentar a densidade de dispositivos em uma lâmina e a capacidade de processamento, tais transistores passaram a sofrer efeitos de canal curto. Estes efeitos, que são decorrentes da perda do controle eletrostático das cargas na região de canal pela porta, resultam no aumento da inclinação de sublimiar, na redução da barreira induzida pelo dreno e redução da tensão de limiar ( $V_{th}$ ). A fim de minimizar a ocorrência dos efeitos de canal curto, algumas tecnologias têm sido propostas, como a Silício-sobre-Isolante (SOI - Silicon-On-Insulator) [1]. Nesta tecnologia, a região ativa da lâmina, onde os dispositivos são fabricados, é isolada do substrato através de uma camada de óxido enterrado, que reduz as capacitâncias parasitas, melhorando o acoplamento capacitivo da estrutura. Assim, os dispositivos fabricados em tecnologia SOI possuem menor ocorrência dos efeitos de canal curto.

A tensão de limiar, que consiste em um dos parâmetros mais afetados pela redução das dimensões dos dispositivos, representa o ponto de transição entre o estado desligado e o ligado em um transistor MOS. No entanto, como a transição entre esses estados não é abrupta, diversos métodos foram desenvolvidos visando à extração da mesma. Alguns deles possuem fundamentação matemática enquanto outros se baseiam no funcionamento físico do dispositivo.

O estudo dos métodos de extração da tensão de limiar tem por objetivo fundamentar valores teóricos para a obtenção de resultados práticos. A tensão de limiar representa o valor de transição entre os estados desligado – ligado dos transistores MOSFET. Ao longo dos anos, diversos métodos para a obtenção da extração da tensão de limiar foram desenvolvidos. Portanto, este artigo tem por objetivo comparar alguns destes métodos, como o da segunda derivada da curva da corrente de dreno [2], que é um método por princípios matemáticos, e também o método baseado na curva de transcondutância sobre a corrente de dreno ( $g_m/I_d$ ), que é um método com princípios físicos [3]. Para o estudo

dos componentes MOS vamos abordar os transistores na tecnologia SOI (Silício-sobre-Isolante).

## 2. Metodologia

Para a simulação numérica dos dispositivos, foram utilizados os programas Sentaurus Device [4] e Sentaurus Structure Editor [4]. Com esses programas é possível obter dispositivos com diferentes características a partir da definição de suas estruturas. Com eles também conseguimos todas as informações necessárias, por exemplo, as curvas de corrente de dreno ( $I_d$ ) vs. tensão de porta ( $V_g$ ) e capacitância vs. tensão de porta.

## 3. Resultados

Com o auxílio dos softwares, foi possível simular as estruturas físicas e características elétricas de transistores MOS. Para tal foram fixadas algumas características físicas como as espessuras do óxido de porta e óxido enterrado, variando o comprimento de canal  $L$ , que obteve valores de 100nm, 240nm, 400nm, 500nm, 800nm e 1000nm e a espessura do filme de silício TSi com valores de 10nm, 20nm e 30nm. Com as curvas  $I_d \times V_g$  dos transistores foi possível aplicar os métodos de extração de tensão de limiar.

O método da segunda derivada da corrente de dreno consiste em aplicar uma derivada de segunda ordem na curva  $I_d \times V_g$ , observando seu ponto de máximo. Tal valor resulta na tensão de limiar do transistor estudado. É possível observar esse efeito na Figura 1.

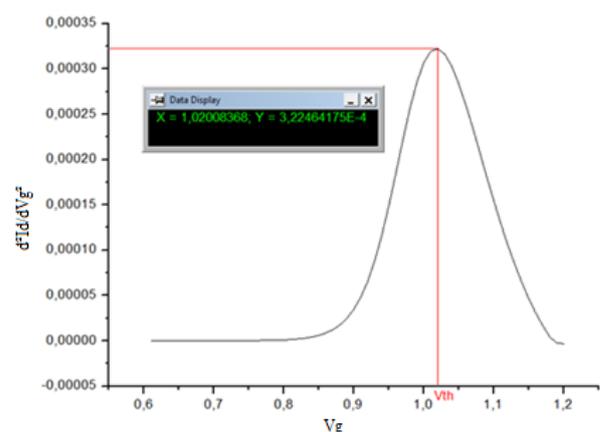


Figura 1 – Curva de  $d^2I_d/dV_g^2$  em função de  $V_g$  para um transistor de  $L = 1000$  nm e TSi = 30 nm.

Após aplicar o método para todos os dispositivos, foi possível observar uma tendência com relação ao valor da tensão de limiar. Diminuindo o comprimento de canal  $L$  e para o mesmo TSi o valor da tensão de limiar diminui, esse fenômeno acontece devido efeitos de

canal curto em transistores com menores  $L$ . Este mesmo efeito é observado com a redução de  $TSi$ , devido ao melhor acoplamento capacitivo da estrutura. Essa tendência pode ser observada na Figura 2, onde é apresentada a tensão de limiar, obtida através do método da segunda derivada, em função de  $TSi$  para dispositivos de diferentes comprimentos de canal.

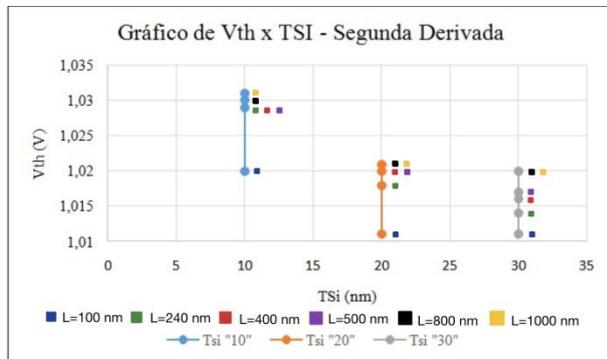


Figura 2 – Gráfico da tendência de tensão de limiar obtida pelo método da segunda derivada em função de  $TSi$  pra diferentes comprimentos de canal  $L$ .

Novamente, com a curva  $I_d \times V_g$  dos transistores foi possível estudar o método de extração baseado na curva de transcondutância pela corrente de dreno. Com os valores do logaritmo da corrente de dreno, uma derivada de primeira ordem foi aplicada à curva do gráfico, visando obter a curva de  $gm/Id$ , a qual foi plotada em função de  $V_g$ , como mostrado na Figura 3, para um transistor de  $L$  igual a 240 nm e  $TSi$  de 30 nm. Foi observado o valor máximo desta curva e traçada uma reta paralela ao eixo da tensão  $V_g$  em metade do valor máximo. O ponto da reta paralela que coincide com a curva foi rebatido no eixo de  $V_g$ , onde é obtida a tensão de limiar.

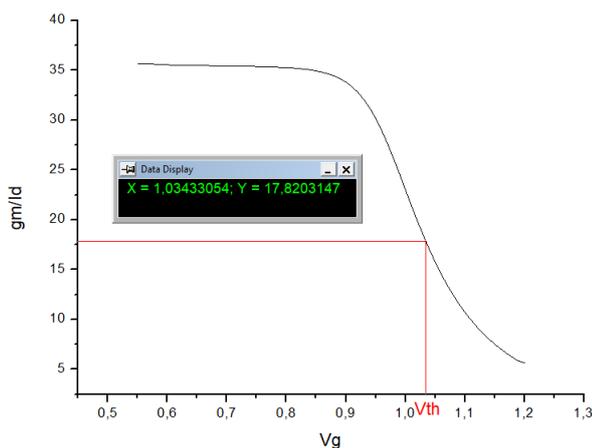


Figura 4 – Curva de  $Gm/Id$  em função de  $V_g$  para um transistor de  $L = 240$  nm e  $TSi = 30$  nm. O valor de  $V_{th} = 1,034$  V pelo método  $gm/Id$  é indicado no gráfico.

Para a aplicação do método baseado na curva de transcondutância pela corrente de dreno ( $gm/Id$ ), foram utilizados os mesmos transistores do método da segunda derivada. Neste caso, foi possível observar a mesma tendência, ou seja, conforme a diminuição do

comprimento de canal para a mesma espessura de filme de silício, a tensão de limiar diminui, porém com alguma variação ao método da segunda derivada. O gráfico da figura 4, que apresenta  $V_{th}$ , obtido pelo método de  $gm/Id$ , em função de  $TSi$  para diferentes comprimentos de canal, indica esta tendência.

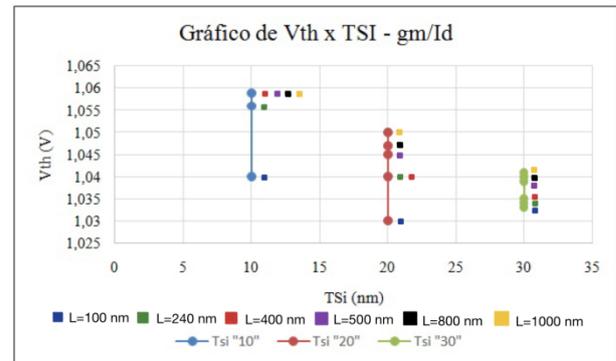


Figura 4 – Gráfico da tendência de tensão de limiar obtida pelo método da curva  $gm/Id$  em função de  $TSi$  para diferentes comprimentos de canal  $L$ .

#### 4. Conclusões

O objetivo deste artigo é verificar a extração da tensão de limiar de transistores MOS pelos métodos, da segunda derivada da corrente de dreno e curva de transcondutância pela corrente de dreno. Foram efetuadas simulações de dispositivos com diferentes comprimentos de canal e espessuras da camada de silício, onde foi constatado que, ao se reduzir o comprimento de canal existe uma redução em  $V_{th}$  devido à ocorrência de efeitos de canal curto, o que também é observado com a redução de  $TSi$ . A extração de  $V_{th}$  por ambos os métodos apresentou tendência similar.

#### 5. Referências

- [1] J.P. Colinge, Silicon-on-Insulator Technology: Materials to VLSI, 3ª Edição ed., Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003, p. 366.
- [2] A. Ortiz-Conde et al. "A review of recente MOSFET threshold voltage extraction methods," Microelectronics Reliability, v. 42, pp. 583-596, 2002.
- [3] A.I.A. Cunha et al. "Direct determination of threshold condition in DG-MOSFETs from the  $gm/ID$  curve," Solid-State Electron., v. 56, pp. 89-94, 2011.
- [4] Sentaurus Device User's Manual, SYNOPSYS, 2016.

#### Agradecimentos

À instituição Centro Universitário FEI pela realização das medidas ou empréstimo de equipamentos.

<sup>1</sup>Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 09/17 a 08/18.