

Influência do comprimento de canal em p-finFETs de canal de germânio

Influence of the channel length on p-finFETs with germanium channel

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a influência da redução do comprimento de canal em finFETs de canal de germânio de canal tipo p, em seus parâmetros elétricos básicos, tais como, transcondutância, tensão de limiar e inclinação de sublimiar. Esta análise é realizada extraindo-se estes parâmetros dos transistores de diferentes dimensões geométricas, a partir de resultados prévios de medições de características corrente-tensão para cada dispositivo estudado. Desta forma, constata-se que o efeito de canal curto predomina em dispositivos cujo comprimento de canal é inferior a 300 nm, degradando tanto a tensão de limiar quanto a transcondutância em cerca de 100 %, em relação aos dispositivos de comprimento de canal mais longo.

PALAVRAS-CHAVE: Microeletrônica. Semicondutores. Transistores.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the influence of the channel length reduction on the basic electrical parameters of the enhanced-mode germanium p-finFETs, such as, transconductance, threshold voltage, and subthreshold swing. This analysis is performed by extracting those parameters for the transistors with different geometric dimensions, from a previously measured current-voltage characteristics for each device. The main finding is that the short channel effect obviously predominates on devices with channel length shorter than 300 nm, degrading both transconductance and threshold voltage in around 100 % compared to longer channel ones.

KEYWORDS: Microelectronics. Semiconductors. Transistors.

Amanda Martinatti dos Santos
amandasantos@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Alberto Vinicius de Oliveira
avdo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

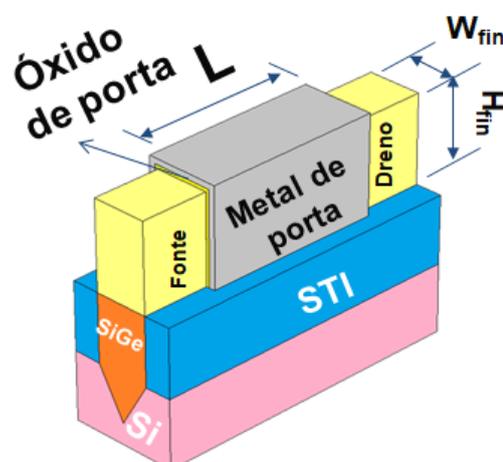
O principal elemento de circuitos integrados em escala nanométrica é a estrutura Metal-Óxido-Semicondutor, MOS (CALVIN, 2015). Em 1965, Gordon Moore fez constatar que a taxa de crescimento da quantidade de transistores em um único *chip* dobraria a cada dois anos, considerando o mesmo custo, por pelo menos 10 anos. Atualmente, a taxa dobra a cada 18 meses e tende a manter este ritmo pelas próximas décadas (CALVIN, 2015). Esta previsão tem orientado o desenvolvimento e a inovação de produtos eletrônicos por mais de 50 anos (INTEL, 2020). Com a demanda por dispositivos cada vez menores e mais rápidos, o MOSFET chegou a um limite em que devido ao curto comprimento de seu canal, efeitos indesejados começaram a ocorrer, conhecido como efeito de canal curto, e causam, entre outros efeitos, degradação de parâmetros elétricos de dispositivo (MARTINO; SZE, 2003,2007). Como uma alternativa, surgiram os dispositivos de múltiplas portas, dentre eles o finFETs (*fin Field-Effect-Transistor*) (Colange, 2007). A principal vantagem do FinFET é a habilidade de reduzir o efeito de canal curto, além disso, este dispositivo é uma alternativa atrativa para substituição do MOSFET planar (PATIL, 2018).

Este trabalho apresenta como objetivo geral a avaliação da influência do comprimento de canal sobre parâmetros elétricos de dispositivos finFETs de canal de germânio: transcondutância, tensão de limiar e inclinação da região de sublimiar, a partir de caracterização elétrica experimental realizada por Oliveira (2016a).

REFERENCIAL TEÓRICO

Os dispositivos de múltiplas portas, tal como o finFET, são estruturas alternativas aos MOSFETs planares, pois apresentam uma maior densidade de corrente, pois há condução de corrente nas paredes laterais e superior da aleta, e são mais imunes ao efeito de canal curto (Colinge, 2007). Uma representação básica do finFET é ilustrada na Figura 1, na qual é possível identificar dimensões geométricas como altura da aleta (H_{fin}), largura da aleta (W_{fin}) e comprimento de canal (L).

Figura 1 - Estrutura básica de um finFET



Fonte: Adaptado de Oliveira (2016b).

PARÂMETROS ELÉTRICOS

Os principais parâmetros elétricos de dispositivos MOSFETs e FinFETs são (Martino, 2003):

- tensão de limiar (V_{TH}) que representa o ponto de operação no qual o dispositivo passa do estado desligado para o ligado;
- transcondutância (g_m) que é um parâmetro que correlaciona o quão eficiente é o controle das cargas na região do canal pelo potencial elétrico aplicado ao terminal de porta; e
- inclinação de sublimiar (SS) que está correlaciona o quão rápido o dispositivo passa do estado desligado para o ligado na região de sublimiar, ou seja, logo antes de atingir tensão de limiar.

Estes parâmetros são de suma importância para aplicações digitais e analógicas, nas quais o dispositivo pode ser empregado em circuitos amplificadores, células de memórias, processadores, reguladores de tensão, atuando como chave semicondutora e inversor lógico (COLANGE; MARTINO; PATIL, 2007, 2003, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dispositivos estudados são de canal de germânio e foram fabricados no Imec, Bélgica sobre lâminas de silício de 300 mm, com o canal mecanicamente tensionado. Mais informações sobre a fabricação dos dispositivos e caracterização elétrica destes podem ser encontradas em Oliveira (2016a). Além disso, vale destacar este trabalho limita-se a extração e a análise de parâmetros elétricos obtidos por meio de caracterização elétrica de dispositivos realizada por Oliveira (2016a).

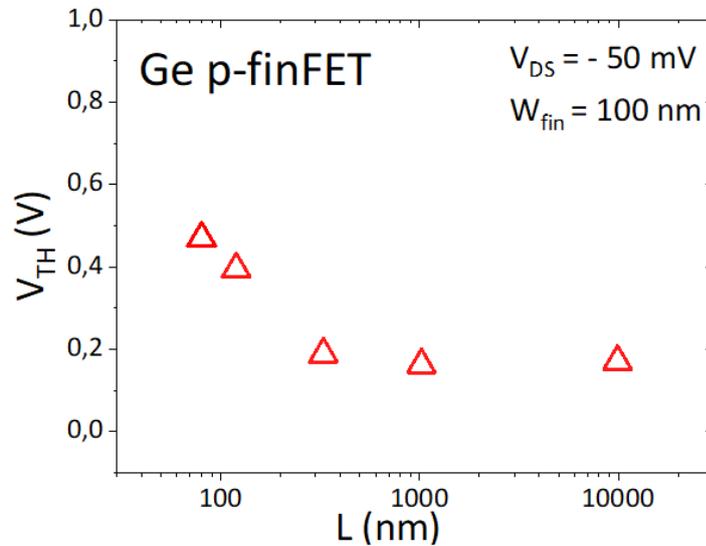
As características físicas dos dispositivos analisados neste trabalho são: H_{fin} de 30 nm e W_{fin} de 100 nm, combinados com L de 80 nm, 120 nm, 330 nm, 1030 nm e 10030 nm.

A extração de tensão de limiar é baseada no método de segunda derivada (DOBRESCU, 2000), quanto à transcondutância, é considerado seu valor máximo apresentado na curva de g_m em função da tensão aplicada ao terminal de porta (Martino; Oliveira, 2003, 2016a). Por fim, o SS é definido pelo o inverso do coeficiente angular para uma década de corrente de dreno na região de sublimiar, a partir da curva de corrente de dreno em função da tensão aplicada ao terminal de porta (Martino; Oliveira, 2003, 2016a).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 apresenta o efeito da redução do comprimento de canal no parâmetro elétrico da tensão de limiar. Considerando que V_{TH} define o ponto de operação do dispositivo, ou seja, é um parâmetro de controle, espera-se que o valor de V_{TH} seja independente do comprimento de canal.

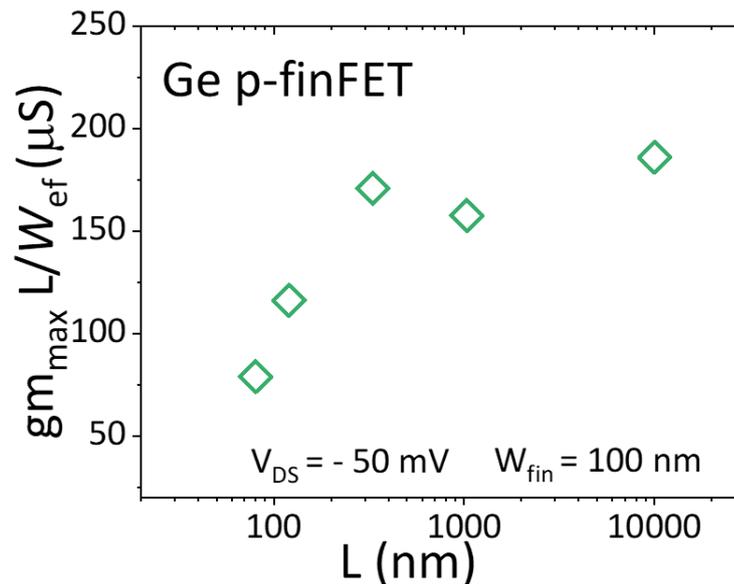
Figura 2 – Tensão de limiar em função do comprimento do canal



Fonte: Autores.

Observa-se na Figura 2, que para valores de L abaixo de 300 nm, o valor de V_{TH} é deslocado cerca de 0,2 V. Este comportamento pode estar associado ao efeito de canal curto. No entanto, deve-se verificar se a transcondutância apresenta uma degradação para o mesmo intervalo de L. De fato, esta hipótese é confirmada, como ilustra a Figura 3.

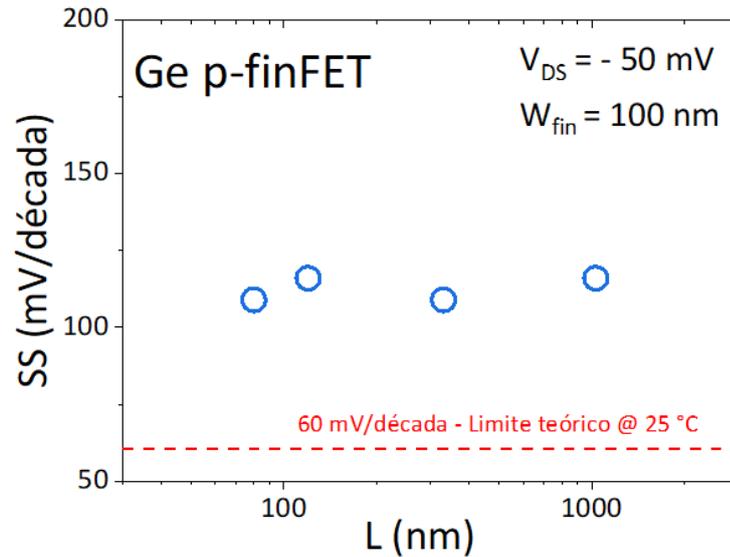
Figura 3 – Transcondutância em função do comprimento de canal



Fonte: Autores.

Por outro lado, o parâmetro correlacionado ao chaveamento do dispositivo (Figura 4) não é afetado com a diminuição do comprimento de canal e se mantém no patamar de 110 mV/década, apesar de ser superior ao valor teórico de 60 mV/década à temperatura ambiente de 25 °C, que por sua vez é tipicamente encontrado em finFETs de canal de silício. Isso significa também que a corrente de dreno no estado desligado, em outras palavras, a corrente de fuga do dispositivo, não é impactada.

Figura 4 – Inclinação de sublimiar em função do comprimento do canal



Fonte: Autores.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo acerca da influência da redução de comprimento de canal de dispositivos p-finFETs de canal de germânio em seus parâmetros elétricos. O efeito de canal curto mostrou-se dominante na tensão de limiar, que por sua vez variou 100 % em relação ao mesmo parâmetro para dispositivos de canal longo, além de degradar a transcondutância máxima dos dispositivos para comprimento de canal abaixo de 300 nm. Por outro lado, o parâmetro de correlacionado com o chaveamento do dispositivo não sofreu variação significativa. Portanto, é imprescindível saber qual é o valor do menor comprimento de canal de uma tecnologia de dispositivos eletrônicos, cujos parâmetros elétricos sejam preservados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Imec pela fabricação do dispositivo e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná por viabilizar a realização da iniciação científica pela discente.

REFERÊNCIAS

CAVIN, R. K.; LUGLI, P.; ZHIRNOV, V. V. Science and engineering beyond Moore's law. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. special centennial issue, p. 1720–1749, mai. 2012. DOI [10.1109/JPROC.2012.2190155](https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2190155). Acesso em: 31 ago. 2020.

COLINGE, J.-P. **FinFETs and other multi-gate transistors**. 1. ed. Cambridge: Springer Publishing Company, 2007.

DOBRESCU, L. et al. Threshold voltage extraction methods for MOS transistors. In: INTERNATIONAL SEMICONDUCTOR CONFERENCE, Sinaia. **Anais...** Sinaia: IEEE 2000. DOI [10.1109/SMICND.2000.890257](https://doi.org/10.1109/SMICND.2000.890257). Acesso em: 26 ago. 2020.

INTEL. Over 50 years of Moore's law. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/moores-law-technology.html>. Acesso em: 18 ago.2020.

MARTINO, J.; PAVANELLO, M.; VERDONCK, P. **Caracterização elétrica de tecnologia e dispositivos MOS**. 1. ed. São Paulo: Thomson, 2003.

OLIVEIRA, A. V. **Estudo de transistores de porta tripla (FinFETs) de silício e de germânio**. 2016.. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2016. DOI [10.11606/T.3.2017.tde-21032017-152959](https://doi.org/10.11606/T.3.2017.tde-21032017-152959). Acesso em: 31 ago. 2020.

OLIVEIRA, A. V. et al. Effective hole mobility and low-frequency noise characterization of Ge pFinFETs, In: JOINT INTERNATIONAL EUROSOI WORKSHOP AND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ULTIMATE INTEGRATION ON SILICON. **Anais...** Vienna: IEEE, 2016. DOI [10.1109/ULIS.2016.7440078](https://doi.org/10.1109/ULIS.2016.7440078). Acesso em: 31 ago. 2020.

Patil, R. K. Commencing from MOSFET to FinFET technology: a short review. **International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering**, p. 40-45, jun. 2018. Disponível em: <https://www.ijeecse.com/V5N3-022.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2020.

SZE, S. M.; NG, K. K. **Physics of semiconductor devices**. 3. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2007. ISBN 978-0-471-14323-9.