A IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM QUÂNTICA NA CARACTERIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS NANOMÉTRICOS

Henrique Lanza Faria Torres[1], Renato Camargo Giacomini[2]
[1,2] Centro Universitário da FEI
henriqueltorres@hotmail.com, renato@fei.edu.br

Resumo: Este trabalho descreve a importância da consideração da Física Quântica e seus efeitos durante a caracterização dos dispositivos semicondutores atuais.

1. Introdução

Os efeitos quânticos estão presentes em todos os sistemas estudados e se tornam mais ou menos evidentes dependendo das dimensões do sistema em questão. A contínua redução das dimensões dos dispositivos semicondutores leva ao ponto no qual simulações numéricas baseadas nas equações da Física Clássica não são mais capazes de descrever corretamente os efeitos que ocorrem no transistor, sendo necessário recorrer aos modelos da Física Quântica.

Em transistores com múltiplas portas, quando a região de silício fica totalmente depletada, ocorre o acoplamento eletrostático das portas e o confinamento quântico assume um papel ainda mais importante. Já o tunelamento é evidente em dispositivos com óxido de porta muito fino e a chamada corrente de fuga pode ser entendida como o tunelamento de portadores por este óxido. Logo, este trabalho tem por objetivo avaliar e comparar resultados de simulações de transistores FinFET com e sem a consideração do efeito de confinamento quântico.

2. Metodologia

A evolução temporal da função de onda de uma partícula em um sistema físico obedece à equação diferencial de Schrödinger [1]

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\vec{r},t) = \hat{H}\, \Psi(\vec{r},t) \qquad (1)$$

Esta equação descreve a evolução temporal do estado quântico de um sistema físico e exemplifica como esses estados são alterados por influências externas.

Resolvendo-se a equação de Schrödinger para o problema do poço infinito de potencial percebemos que ao contrário do elétron livre, o elétron confinado não pode ter um valor qualquer de energia, havendo assim uma discretização dos níveis energéticos:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} n^2 \qquad (2)$$

onde m é a massa da partícula e L é largura do poço de potencial. Percebemos que os níveis de energia se tornam ainda mais discretos e evidentes quanto menor for a região de confinamento.

3. Resultados

O efeito de confinamento quântico pode ser encontrado claramente em dispositivos FinFET Dual Gate [2]

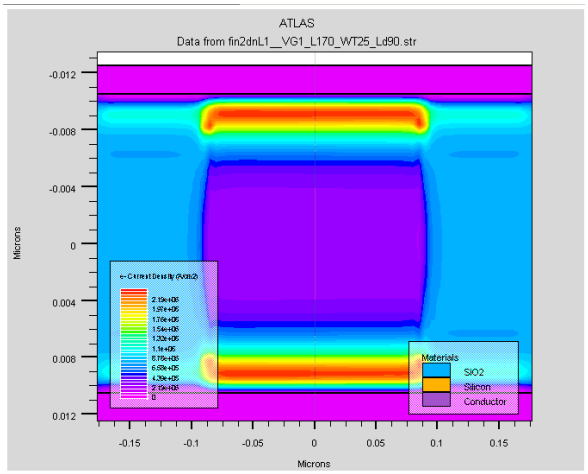

Figura 1 – Dispositivo FinFET com W=21nm.

Simulações numéricas deste dispositivo fazendo uso de modelos quânticos sugerem que quanto menor a largura de canal mais distantes estão os portadores da interface entre óxido e silício devido à influência visível dos efeitos de quantização e confinamento dos portadores na direção perpendicular às portas.

A Figura 1 representa a densidade de portadores minoritários em um transistor tipo p. Observamos claramente que o canal de inversão formado assume uma forma tridimensional, se distanciando da interface entre silício e óxido de porta. Este distanciamento dos portadores das paredes laterais influi diretamente na capacitância de porta, já que neste caso não se trata mais de uma camada de inversão pelicular.

4. Conclusões

Podemos concluir que, para uma partícula confinada, nem todo valor de energia é permitido, pois o aprisionamento da partícula causa uma quantização dos níveis de energia. Sendo assim, a consideração de efeitos quânticos permite a modelagem de fenômenos observados durante caracterização e projeto de dispositivos semicondutores atuais, dispositivos estes que possuem dimensões inferiores à tecnologias passadas, nas quais o efeito de confinamento era irrelevante.

5. Referências

[1] EISBERG, R.; RESNICK, R. Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles. 2.ed. John Wiley and Son Ltd, 1985.
[2] COLINGE, J. P. FinFETs and Other Multi-Gate Transistors. 1st.ed. Springer, 2006

[1] Aluno de IC do Centro Universitário da FEI