

SIMULAÇÃO DE DISPOSITIVOS E SEMICONDUTORES PARA CRIAÇÃO DE SENSORES

Fernando Henrique Oliveira Silva¹, Rudolf Bühler²

^{1,2} Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI

fernando.h.o.s@hotmail.com buhler@fei.edu.br

Resumo: Dentre os materiais inteligentes, as estruturas nanogranulares possuem muito potencial para serem utilizadas como sensores eletrônicos de diferentes tipos. Com base nisso, foram realizadas simulações numéricas misturando estas estruturas com dispositivos que já possuem um modelo SPICE compacto, possibilitando estudar o uso de estruturas nanogranulares integradas a circuitos eletrônicos mais complexos e os efeitos resultantes de diferentes estímulos elétricos e ambientais externos.

1. Introdução

Semicondutores são materiais específicos que se encontram em uma posição entre os materiais condutores e materiais isolantes. A principal característica destes materiais é que eles se tornam condutores a uma dada circunstância do meio externo, caso contrário eles se comportam como isolantes [10]. Nos últimos anos a indústria de semicondutores vem crescendo muito, e se tornando cada vez mais importante para o desenvolvimento tecnológico e para o avanço da indústria, chamada de indústria 4.0 [9]. Por meio dos semicondutores é feita a confecção de diversos dispositivos eletrônicos como diodos, transistores MOSFET ou de junção, entre outros dispositivos que possuem diversas aplicações.

Em paralelo a essa indústria, outro tipo de material que também vem se destacando no desenvolvimento tecnológico são os materiais inteligentes (do inglês *smart materials*), ou materiais responsivos, que são materiais capazes de alterar significativamente suas propriedades elétricas a partir de estímulos externos [1] [2] e sua aplicação vem crescendo em cada vez mais áreas do cotidiano.

Sendo sensíveis a estímulos do meio externo, os materiais inteligentes podem captar informações do meio ou até modificar o comportamento do sistema, dependendo do material e do estímulo. Por exemplo, ao serem submetidos a uma deformação mecânica ou a um campo magnético, estes materiais podem mudar sua capacidade de condução elétrica.

Este comportamento em particular torna os materiais inteligentes muito úteis para a indústria de sensores eletrônicos em geral, com uma vasta aplicação na Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*). Existem diversos tipos de sensores, como de luz, campo magnético, umidade, tensionamento mecânico, entre outros.

Desta forma, o estudo dos materiais inteligentes e de sua composição estrutural se torna cada vez mais relevante.

O foco deste estudo se dá principalmente em semicondutores, juntamente a estruturas nanogranulares (uma categoria dos materiais inteligentes) [3]. Estas estruturas são formadas por grãos metálicos sujeitos a acoplamento eletrônico intergranular, uma vez que se encontram envoltos em uma matriz dielétrica composta, em geral, por uma grande quantidade de carbono amorfo assumindo o papel de isolante entre os grãos [4]. A figura 1 mostra um exemplo destas estruturas.

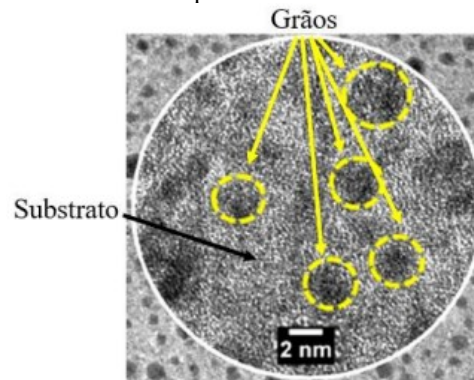


Figura 1 – Exemplo de estrutura nanogranular [5]

Por meio do *software* TCAD de simulações numéricas ATLAS, da Silvaco [6] é possível analisar o comportamento destas estruturas quando submetidas a diferentes estímulos ou ligados a diferentes circuitos eletrônicos. O *software* permite a utilização combinada de simulação numérica de dispositivos com modelos SPICE, no chamando *Mixed Mode*. Este modo permite o estudo do comportamento elétrico de dispositivos semicondutores cujo comportamento elétrico ainda não possui um modelo SPICE compacto definido, integrado a outros dispositivos já bem conhecidos e modelados, possibilitando obter resultados em circuitos eletrônicos. Desta forma, as estruturas nanogranulares, aqui estudadas, que ainda não possuem um modelo SPICE compacto definido, podem ser simuladas juntamente a dispositivos não lineares como transistores de junção MOS, diodos, entre outras. Esta ferramenta abre um vasto leque de estudos através de simulações que até então não poderiam ser realizados.

2. Metodologia

Utilizando o *software* ATLAS, da empresa Silvaco, se torna possível a simulação de semicondutores e materiais não definidos por um modelo SPICE compacto.

Um dos objetivos das simulações da presente pesquisa é analisar a utilidade de sensores feitos a partir das estruturas nanogranulares da Figura 1, realizando uma diversidade de testes à medida que as estruturas são

submetidas a testes como tensionamento mecânico, absorção de luz, aquecimento, entre outros.

A ideia é que estes testes sejam feitos enquanto as estruturas estão ligadas a um circuito eletrônico. Assim, pode-se analisar a mudança na condutividade entre os nano grãos, ligados a resistências, fontes de tensão, capacitores, ou, até mesmo, semicondutores como transistores, diodos, entre outros.

Para a pesquisa, até o momento, foram criadas apenas estruturas de semicondutores por código no *software*, afim de realizar a simulação do circuito da Figura 2. Este circuito, associa dispositivos nMOS e pMOS, que não possuem um modelo SPICE, com resistores, capacitores e fonte de tensão, que já possuem um modelo pré-definido.

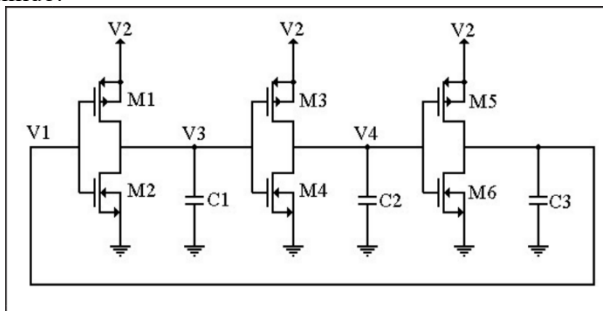


Figura 2 – Circuito Oscilador em anel de 3 estágios [7]

3. Resultado

Por código foi descrita e construída a estrutura dos transistores nMOS e pMOS e, por meio da ferramenta *TonyPlot* do *software* se torna possível uma visualização 2D dos dispositivos criados. Em seguida foi feita a análise da região de dopagem do dispositivo e da concentração de doadores, apresentadas nas figuras 2 e 3, nas quais o transistor nMOS está na direita e o pMOS na esquerda. A escala das imagens é dada em micrometros. As linhas em roxo representam as junções feitas pelo simulador e a região em roxa para valores de verticais maiores que 0 corresponde ao isolante dos transistores

A respeito da visualização da região de dopagem, observa-se que como os transistores se diferem apenas no tipo de dopagem descrita no código, as regiões de dopagens são a mesma.

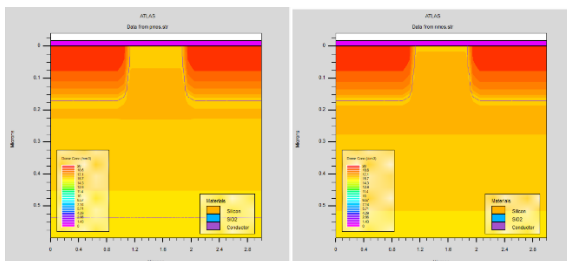


Figura 3 – Transistor nMOS simulado no software [8]

A diferença entre os dois transistores fica mais evidente na visualização da concentração de doadores (ou lacunas) na figura 3. Aqui pode-se observar que na região do dreno e fonte do nMOS há uma grande concentração de doadores, indicada pelas cores vermelho e laranja. Já no caso do transistor pMOS, há uma

concentração menor de doadores disponíveis. Para esta imagem, considere que as regiões em vermelho correspondem a uma concentração de 20 doadores por centímetro cúbico, já as regiões de cores mais frias correspondem a regiões com menos concentração de doadores, sendo que o roxo corresponde a 0 doadores por centímetro cúbico

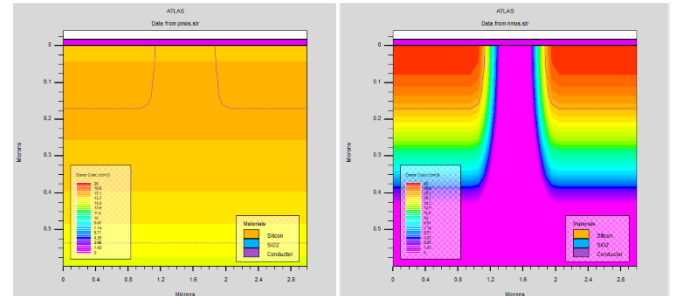


Figura 4 – Transistor pMOS simulado no software [8]

4. Conclusões

Através dos passos citados, o *software* utilizado se mostrou muito útil para a simulação e criação de dispositivos a partir de semicondutores e materiais inteligentes.

Como próximos passos da pesquisa serão criadas as estruturas e sensores no *software* e, utilizando o Mixed-Mode, serão realizadas simulação relacionando os sensores a circuitos elétricos a medida que estes dispositivos sofrem estímulos externos como tensionamento mecânico, emissão de luz, entre outros. Dessa forma será possível compreender a utilidade de sensores feitos por materiais inteligentes.

5. Referências

- [1] H. J. Schneider, Intelligent Materials, 2007
- [2] M. M. Schwartz Smart materials, 2009.
- [3] G. Montesani, Análise simulação e modelagem de dispositivos obtidos por deposição de materiais inteligentes sobre isolantes.
- [4] M. Huth, et al. Focused electron beam induced deposition: A perspective, 2012
- [5] De Puydinger et al, 2016, “adaptado” por MONTESSANI, 2021
- [6] D. S. Atlas User’s Manual, 2018
- [7] Documento da Silvaco “ATLAS/MixedMode Simulation of a Three Stage CMOS Ring Oscillator
- [8] Silvaco, Atlas Simulador, v2019
- [9] C. G. Rodrigues, Panorama do mercado global da indústria de semicondutores, 2021
- [10] S. SEDRA. Microeletrônica, edição 5. Pearson.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao projeto CNPq nº 436207/2018-4 pelo apoio financeiro.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 08/21 a 07/22.