

# Estudo de células solares implementadas com MOSFET do tipo Diamante

Rafael Rivas Valdivia<sup>1</sup>, Salvador Gimenez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de engenharia elétrica, Centro universitário FEI

[Rafael.val1302@hotmail.com](mailto:Rafael.val1302@hotmail.com), [sgimenez@fei.edu.br](mailto:sgimenez@fei.edu.br)

**Resumo:** O objetivo desse trabalho é propor uma estrutura da célula solar baseada numa estrutura planar correspondente ao do Transistor de Efeito de Campo Metal-Óxido-Semicondutor (*Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor*, MOSFET). O MOSFET a ser utilizado na célula solar possui um estilo de leiaute do tipo Diamante (geometria de porta hexagonal). Estudos anteriores com esse tipo de MOSFET tem mostrado que ele é capaz de melhorar o desempenho elétrico principalmente dos circuitos integrados (CIs) analógicos, quando comparados aqueles implementados com MOSFETs convencionais (geometria de porta retangular). Portanto, simulações numéricas tridimensionais estão sendo desenvolvidas, com intuito de verificar se eles também podem enriquecer o desempenho das células solares.

## 1. Introdução

Com o contínuo aumento na utilização de energia elétrica pelas pessoas e pelas indústrias, faz-se necessário o aumento da demanda por energia elétrica a cada dia, principalmente aquelas que são intituladas de “limpa” (não poluem o meio ambiente etc.). A necessidade de produzir mais energia elétrica gerou um grande problema, a poluição, por isso muitos países começaram a investir na área de geração de energia elétrica através de fontes renováveis, tais como, energia eólica, hídrica, maremotriz, solar entre outras. A energia solar é uma das fontes renováveis que mais cresce no mundo, é previsto que ela ultrapasse a capacidade instalada da energia eólica antes de 2025, da hidroelétrica até 2030 e carvão antes de 2040, segundo a agência internacional de energia (IEA) [1].

No mercado de energia solar, os painéis mais comercializados na atualidade são feitos de silício policristalino. Há maior vantagem desses painéis é ter um custo acessível para a população e possui uma desvantagem que é ter uma baixa eficiência. Pensando nisso, esse trabalho tem como objetivo mudar a estrutura de uma célula solar típica, substituindo-se o diodo pela estrutura planar do Transistor de Efeito de Campo Metal-Óxido-Semicondutor (*Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor*), implementado com o estilo de leiaute do tipo Diamante (geometria de porta hexagonal) [2]. Estudos mostram que esse inovador estilo de leiaute para MOSFETs tem a capacidade de melhorar o desempenho dos seus principais parâmetros elétricos e figuras de mérito e conseqüentemente os dos circuitos integrados (CIs), principalmente dos analógicos, além de melhorar a robustez às radiações ionizantes [3].

## 2. Revisão bibliográfica

### A. Efeito Fotoelétrico

Descoberto por Heinrich Hertz, em 1886, o efeito fotoelétrico decorre da emissão de elétrons de um material, em geral acontece em materiais metálicos. Para que isso aconteça é necessário que o material seja exposto a radiação eletromagnética, como a luz. Ela é composta por muitas partículas que são chamadas de fótons. Cada fóton possui uma energia própria. Caso essa energia seja maior ou igual a função trabalho material, os elétrons são ejetados do material [4].

### B. Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico acontece nas células fotovoltaicas e consiste em transformar a energia do sol em energia elétrica. Quando essas células são expostas a luz solar os elétrons se desprendem do material semicondutor e se movem na direção do campo elétrico originado da junção pn, gerando uma corrente elétrica [4].

### C. Célula solar típica

A célula solar típica é responsável por transformar a energia da radiação eletromagnética em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Ela é composta por duas materiais semicondutores de silício, cada um dopado com um tipo de material dopante, que pode ser trivalente ou pentavalente, formando um semicondutor do tipo p e um outro do tipo n, ou seja, o diodo. Quando essa célula solar é exposta às radiações eletromagnéticas, o efeito fotoelétrico ocorre, principalmente na região de depleção da junção pn, e conseqüentemente gerando pares elétrons-lacunas, que podem ser disponibilizados para alimentar cargas, conforme indicado na Figura 1 [5].

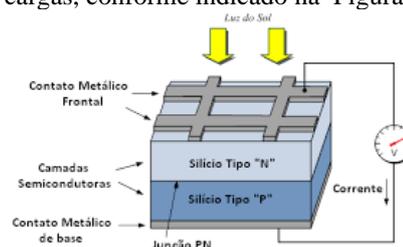


Figura 1: seção transversal de uma célula solar típica e seu funcionamento [6].

### D. MOSFET do tipo Diamante

O MOSFET do tipo Diamante apresenta uma geometria de porta não convencional, ou seja, ela não é retangular, nesse caso ela é hexagonal. Devido a alteração estrutural da convencional, esse MOSFET tem a capacidade de melhorar a maioria dos seus principais parâmetros elétricos e figuras de mérito, em comparação com o MOSFET convencional, além de aumentar a tolerância às radiações ionizantes [7]. Essa melhora se dá por conta do surgimento de três novos efeitos elétricos: I- *Longitudinal Corner Effect* (LCE); II- *Parallel*

Connections of MOSFETs with Different Channel Lengths (PAMDLE); III- Deactivation of Parasitic MOSFETs in the Bird's Beak Regions (DEPAMBBRE) [7]. A Figura 2 ilustra a estrutura de um MOSFET do tipo Diamante.

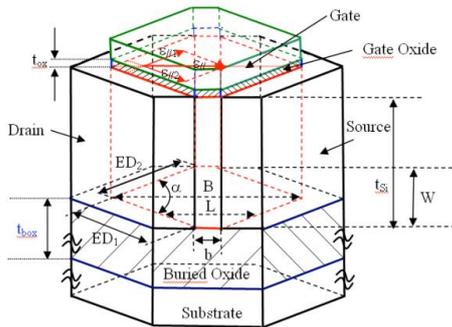


Figura 2: Estrutura de um SOI MOSFET tipo diamante [7].

Onde  $t_{si}$ ,  $t_{ox}$  e  $t_{box}$  são respectivamente as espessuras da lâmina de silício, do óxido de porta e do óxido enterrado, B e b são o maior e o menor comprimento de canal, respectivamente e o  $\alpha$  é o ângulo entre as arestas ED1 e ED2 da estrutura trapezoidal da porta [7].

### E. Estrutura-MOS de uma célula solar

A estrutura-MOS consiste em uma camada com dopagem do tipo n, outra do tipo p, um óxido de porta ( $\text{SiO}_2$ ), um óxido de índio-estanho que funcionará como o eletrodo de porta (G), dois contatos ôhmicos, sendo um na região de dreno (D) e outro na região de fonte (S), um contato ôhmico no substrato da célula solar e uma fonte auxiliar, como mostra a Figura 3 [8].

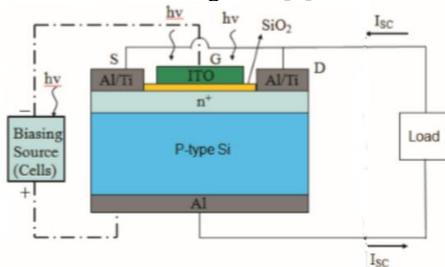


Figura 3: Seção transversal de uma célula fotovoltaica MOS-Si com uma fonte auxiliar [8].

Na Figura 3, a fonte e o dreno estão em curto-circuito e são ligados a uma carga, a saída da carga se conecta ao eletrodo do substrato, fechando o circuito da carga. O terminal negativo da fonte auxiliar está ligado ao eletrodo de porta da célula solar e o terminal positivo ao substrato. A fonte induz cargas negativas na porta e cargas positivas no substrato, isso implica em um aumento na região de depleção entre o semiconductor n e p da célula solar. Esse aumento permitiu que mais fótons atinjam essa região, criando mais pares elétrons-lacunas, o que faz a corrente elétrica de curto circuito ( $I_{sc}$ ) aumentar [8].

### 3. Resultado experimental

Foram feitas comparações entre o MOSFET do tipo Diamante e o convencional equivalente, através da caracterização elétrica desses dispositivos, levando em conta que eles apresentam uma mesma área de porta. Eles foram fabricados com uma tecnologia Bulk CMOS de 180 nm da TSMC. Os dispositivos foram submetidos as

mesmas condições de polarização. A Figura 4 mostra a curva característica da corrente de dreno ( $I_{DS}$ ) normalizada pela razão de aspecto ( $W/L$ ) em função da tensão de dreno ( $V_{DS}$ ) para uma determinada polarização de porta ( $V_{GS}$ ). Observa-se que a  $I_{DS}/(W/L)$  do MOSFET do tipo Diamante é 53,79% maior em comparação a do MOSFET convencional. Isso ainda não prova que o DSM se sairá melhor como célula solar, pois, talvez, a região de operação que foi simulada, para obter as curvas da Figura 4, não será a mesma que iremos utilizar nos testes mais a frente.

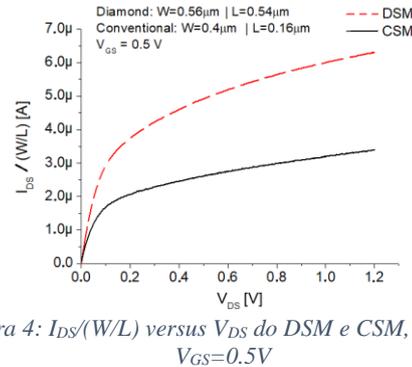


Figura 4:  $I_{DS}/(W/L)$  versus  $V_{DS}$  do DSM e CSM, para um  $V_{GS}=0.5V$

Onde DSM é o SOI MOSFET do tipo Diamante e CSM é SOI MOSFET tipo convencional.

Simulações numéricas tridimensionais (3D) estão sendo realizadas para verificar o comportamento elétrico dessa nova proposta de célula solar.

### 4. Conclusões

A estrutura que será simulada está sendo construída com base no modelo apresentado na Figura 3. A única diferença seria que ao invés de usar a estrutura de um MOS convencional, utilizaremos a estrutura MOS do tipo Diamante.

As simulações numéricas 3D ainda estão sendo realizadas, portanto, ainda não temos as conclusões finais do desempenho dessas células solares com essa nova estrutura em relação às convencionais.

### 5. Referências

- [1] IEA, "World energy outlook", OECD/IEA, 2018.
- [2] S. P. Gimenez, Daniel Manha, "Electrical Behavior of the Diamond layout for MOSFETs in X-rays ionizing radiation environments", Elsevier 2015.
- [3] Vinicius Vono Peruzzi; Christian Renaux; Denis Flandre, Salvador Pinillos Gimenez "Boosting the MOSFETs Matching by Using Diamond Layout Style", IEEE Journal of Integrated Circuits and Systems 2017.
- [4] Jonas Rafael Gazoli "Energia Solar Fotovoltaica conceitos e aplicações", Érica, 2018.
- [5] Soteris Kalogirou. "Engenharia-de-Energia-Solar", Elsevier Inc.2014.
- [6] Bruno Boaventura Beigelman. "A energia solar fotovoltaica e a aplicação na usina de Taguá" Rio de Janeiro, 2013.
- [7] S. P. Gimenez, "Diamond MOSFET: A Novel and Simple Structure Implemented by Drain/Channel/Source Interfaces Engineering Approach for Analog and Digital Integrated Circuits Applications", Solid-State Electronics, 2010.
- [8] Q.R. Lai \*, W.J. Ho\*, J.J. Liu\*, Y.Y. Lee\*, C.C. Liao\*, J.Y. Wu\*, and Y.C. Chiu\* "Photocurrent of MOS-Si Photovoltaic Device Enhanced by an Auxiliary Biasing Solar Cell" Busan, Korea, 2012.