

# IMPACTO DA ESPESSURA DA CAMADA DE SILÍCIO NA CARACTERÍSTICA I-V DE DIODOS PIN

Carlos Henrique dos Santos Silva<sup>1</sup>, Rodrigo Trevisoli Doria<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI  
carloshss97@gmail.com, rtdoria@fei.edu.br

**Resumo:** Esse projeto tem o objetivo de analisar e extrair dados de diodos PIN (acréscimo de silício intrínseco entre as regiões P e N de um diodo convencional) fabricado em tecnologia SOI (*Silicon-On-Insulator*) mediante simulações numéricas variando a espessura da camada de silício e, assim, verificar sua aplicabilidade e comportamento para a utilização como fotodetectores de pequenos comprimentos de onda ou como células solares. Para isso foi utilizado o software *Sentaurus Device*, fazendo assim uma comparação dos dados simulados com os que foram vistos teoricamente.

## 1. Introdução

Tendo em vista que o Sol é a maior fonte de energia limpa e quase inesgotável disponível e acrescido o fato da demanda por dispositivos que utilizam a energia irradiada pelo Sol terem aumentado, o crescimento desta área de estudo e desenvolvimento é uma das que mais vem aumentando nos últimos tempos. Com isso existe um grande interesse atual na aplicação de células solares, visando transformar a energia do Sol em energia elétrica por intermédio do efeito fotovoltaico.

O efeito fotovoltaico em um semicondutor consiste na formação de pares elétrons-lacuna a partir da incidência de luz (fótons) em um material. A energia dos fótons incidentes é transferida para a estrutura cristalina, promovendo a geração de portadores livres, que contribuirão para a corrente elétrica [1].

A tecnologia SOI (*Silicon-On-Insulator*) [2] consiste na introdução de uma camada de óxido de silício entre a região ativa da lâmina e o substrato de lâminas de silício convencionais. Com essa tecnologia, foram reduzidos os efeitos de canal curto e a integração e miniaturização de circuitos alcançou outro patamar. Essa tecnologia será de suma importância para o estudo e desenvolvimento do diodo PIN, pois uma das possíveis aplicações é utilizar o substrato da lâmina de SOI para fabricá-lo. Por possuir espessura de algumas centenas de micrômetros, o substrato da lâmina permite a absorção de grande parte do espectro da luz solar. Assim sendo, o diodo PIN pode ser utilizado para alimentar os circuitos situados na parte ativa da lâmina [3].

O diodo PIN é basicamente um diodo normal com o acréscimo de uma região I que é o silício intrínseco (sem dopantes). O princípio de funcionamento do diodo PIN é utilizar a polarização reversa (Potencial aplicado ao catodo maior que o aplicado ao anodo) para assim gerar uma região de depleção maior. Foi visto que a região de depleção é maior na região menos dopada. Desta forma, a adição de uma região de silício intrínseco entre as regiões P e N, possibilita uma maior região de depleção e, com isso, uma maior superfície para a incidência de luz

e, por consequência, geração de portadores, promovendo um aumento na corrente elétrica gerada.

Sabe-se que a capacidade de absorção dos comprimentos de ondas do espectro solar está diretamente ligada a espessura da camada de silício, como podemos observar na figura 1. Para fótons com menores comprimentos de onda (mais energéticos), se necessita de uma menor espessura da camada de silício para ser absorvido. Para pequenos comprimentos de onda pode-se utilizar uma fina camada de silício. Assim, torna-se possível a fabricação do diodo PIN na parte ativa da lâmina, pois nessa região a espessura é relativamente menor. O diodo PIN nessa situação pode ser utilizado como fotodetectores de pequenos comprimentos de onda (como o violeta e o azul) [4].

Para comprimentos de ondas maiores, deve-se utilizar uma camada de silício mais espessa. Isto pode se tornar um problema ao se utilizar a região ativa da lâmina. Daí a ideia de se utilizar o substrato da lâmina, que serve basicamente como sustentação mecânica para a região ativa. O diodo PIN fabricado no substrato pode absorver qualquer comprimento de luz visível e, portanto, pode ser utilizado como célula solar [5]. Ao utilizar a energia gerada neste dispositivo para alimentar os circuitos situados na parte ativa da lâmina, podem se construir sistemas autônomos [3].

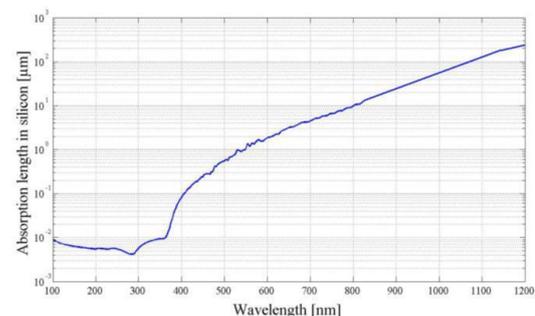


Figura 1 Gráfico do comprimento de absorção em função do comprimento de onda.

Fonte: (Bulteel, 2011)

## 2. Características dos dispositivos

O dispositivo de estudo é um diodo PIN fabricado com tecnologia SOI com o comprimento da camada de silício intrínseco sendo  $L_i$ . Serão estudadas estruturas com diferentes comprimentos de região intrínseca, começando por um dispositivo com  $L_i = 10 \mu\text{m}$ . Entretanto, o principal objetivo do trabalho consiste em verificar a influência da espessura da camada de silício nas características elétricas do diodo PIN. Por esta razão, serão simuladas curvas I-V de diodos com diferentes espessuras de camada de silício. Num primeiro momento, todos os dispositivos simulados serão considerados na

região ativa da lâmina e, posteriormente, na região abaixo do óxido enterrado.

Para a simulação dos dispositivos será utilizado o *Sentaurus Device Simulator* [6], que é uma ferramenta de simulação de dispositivos eletrônicos baseada em uma grade de pontos, permitindo a obtenção de quaisquer características elétricas em qualquer ponto no interior dos dispositivos. Este software foi executado a partir do *Sentaurus Workbench* (SWB), instalado em ambiente Linux, e inicialmente, a estrutura do dispositivo foi gerada com o auxílio do SDE (*Sentaurus Structure Editor*). Na Figura 2 é apresentada a estrutura do diodo PIN gerado no SDE, onde se pode notar acima, em bordô, a camada de óxido enterrado e mais abaixo da direita para a esquerda, as regiões tipo N (com concentração de dopantes de  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ), intrínseca e tipo P (com concentração de dopantes de  $4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ).

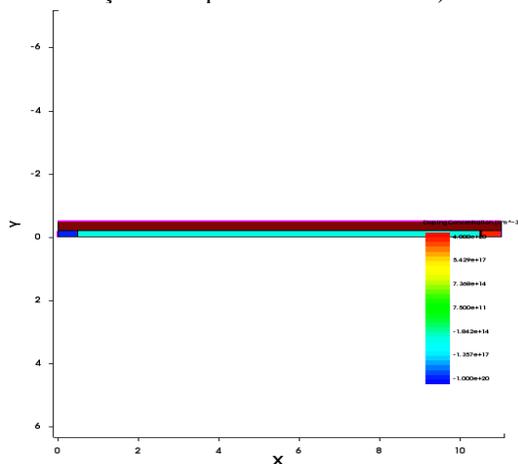


Figura 2 Estrutura do Diodo PIN com comprimento da região intrínseca de  $10 \mu\text{m}$ .

### 3. Resultados

Devido ao projeto ter se iniciado em abril de 2019 e com vigência até março de 2020, até esse momento os esforços foram dedicados à fundamentação teórica por meio da leitura de teses e artigos acadêmicos referentes ao funcionamento do diodo PIN e suas possíveis aplicações. Apenas no início de setembro foram iniciados os trabalhos com simulador.

Após a geração da estrutura do diodo PIN mostrada na Figura 2, o software *Sentaurus Device* foi utilizado para fazer o levantamento das curvas da corrente em função da tensão aplicada. Até o momento, foram feitas simulações com duas espessuras da camada de silício diferente,  $0,1 \mu\text{m}$  e  $0,5 \mu\text{m}$ . Para aumentar a probabilidade de convergência do código e verificar as suas características elétricas de estrutura gerada estavam de acordo com o esperado teoricamente, as simulações iniciais foram realizadas desconsiderando a incidência de luz, como pode ser observado na Figura 3.

Ficou claro que para tsi de  $0,5 \mu\text{m}$  foi gerada uma corrente maior, isso aconteceu por conta de possuir uma espessura maior. Embora tenha sido visto nas teses e artigos lidos e que será visto em simulações posteriores, quanto maior a espessura da camada, maior é a capacidade de absorver mais comprimentos de onda do espectro solar, possibilitando a geração de uma maior

corrente, este fenômeno é observado principalmente para tensões de anodo inferiores à tensão de condução do dispositivo, ou seja, quando o diodo está reversamente polarizado.

No caso atual, para tsi de  $0,1 \mu\text{m}$  foi observada uma menor corrente gerada em polarização direta, devido à menor área da estrutura. Neste caso, a densidade de corrente dos diodos de ambas espessuras deve ser similar. Entretanto, a corrente total do diodo com maior espessura deverá ser maior, visto que neste dispositivo haverá uma maior quantidade de portadores, gerando uma maior corrente de difusão.

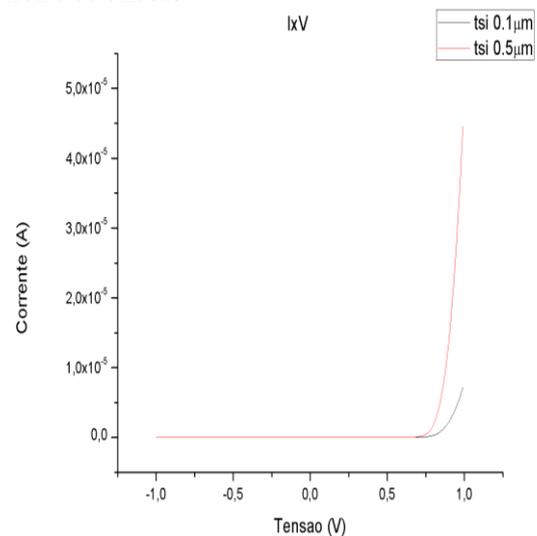


Figura 3 Curva da corrente pela tensão (IxV) do silício com espessura de  $0,5$  e  $0,1 \mu\text{m}$ .

### 4. Conclusões

Podemos concluir que após a leitura de artigos e teses referentes ao diodo PIN, que o mesmo pode ser utilizado como célula solar ou como fotodetector. Para espessuras da camada de silício menores há uma menor absorção de luz do espectro solar, conseguindo absorver no máximo o comprimento de onda azul, por exemplo. Assim sendo, diodos PIN com pequena espessura ficam restritos a serem utilizados como fotodetectores. Com espessura da camada de silício maior, há uma maior absorção de luz do espectro solar, um aumento da corrente gerada e sua possível aplicabilidade sendo como célula solar.

### 5. Referências

- [1] R. Foster, *Solar Energy: Renewable Energy and the Environment*. Florida: Taylor & Francis, 2010.
- [2] J.P. Colinge, *Silicon on Insulator Technology: Materials to VLSI*, Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [3] O. Bulteel, PhD. Thesis, Université Catholique de Louvain, 2011.
- [4] M. de Souza *et al.*, em Proc. EuroSOI Conference 2010, Grenoble/France, January, pp.25-27, 2010.
- [5] M. de Souza *et al.*, em Proc. of WOLTE 10 International Conference, p.92, 2010.
- [6] Synopsis, *Sentaurus User Guide*, 2018.

### 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 04/19 a 03/20.