

# Análise da operação de fotodiodos PIN Multifinger considerando variação de temperatura

Antonio Aurélio de Sousa Gomes<sup>1</sup>, Carla Dick de Castro Pinho Novo<sup>2</sup>, Renato Camargo Giacomini<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI  
 E-mail: antonio.aurelio06@gmail.com<sup>1</sup>/ renato@fei.edu.br<sup>3</sup>

**Resumo:** Dois dispositivos PIN foram caracterizados e estudados, quando irradiados por ondas eletromagnéticas no espectro do visível e fora dele, como o ultravioleta, ou seja, seu comportamento como um sensor de luz. Com isso, serão apresentadas as principais figuras de mérito analisadas, comparações entre os dispositivos, um com maior região intrínseca, mais sensível para pequenos comprimentos de onda e outro com um maior número de *fingers*, sendo mais sensível a grandes comprimentos de onda.

## 1. Introdução

Materiais semicondutores como o silício tem alguma propriedade óptica que pode torna-lo um bom candidato a um sensor de luz. A alta probabilidade de um elétron que esta na camada de valência saltar para a camada de condução deixando uma lacuna onde ele estava, é alta. Este fenômeno é denominado geração do par elétron-lacuna, quando elétrons absorvem um nível específico de energia fornecida pela absorção de fótons, assim quando um material semicondutor é exposto a uma radiação eletromagnética, o nível de corrente no dispositivo pode ser medido. [1] [2]

Os fótons, em um diodo, são esperados para serem absorvidos na região de depleção (RDD), pois esta região apresenta um menor nível de recombinação. Além disso, o tamanho da RDD pode ser aumentado, diminuindo sua concentração de dopantes. E por isso que é interessante incluir uma região intrínseca (com baixa concentração de dopantes) entre as regiões P e N, resultando em um dispositivo chamado diodo PIN. No entanto, outra forma de gerar um par elétron-lacuna é pela geração térmica, que consiste na absorção da energia térmica, chamada fônon, pelos elétrons. Esta energia também é convertida em corrente, assim como na absorção de luz. E por isso, que o sinal de corrente termogerado é considerado um ruído, pois é uma corrente indesejada para um fotodetector. Considerando isso, o tamanho da região intrínseca não pode ser muito grande, mas precisa ter um tamanho suficiente para absorver os fótons de forma eficiente. [3] [4]

Além disso, outro problema enfrentado neste dispositivo é o reconhecimento de sinal fotocorrente. Devido à pequena quantidade de corrente gerada pela luz, o diodo precisa estar polarizado reversamente, para que possamos distinguir mais facilmente entre a corrente gerada termicamente e fotogerada. Outra coisa a ser mencionada é a profundidade de penetração de um fóton no silício, que representa o comprimento médio que um fóton pode penetrar no silício sem ser absorvido por um elétron. Figura 1 representa a profundidade de penetração, em micrometros em função do comprimento de onda, em nanômetros. [1] [2]

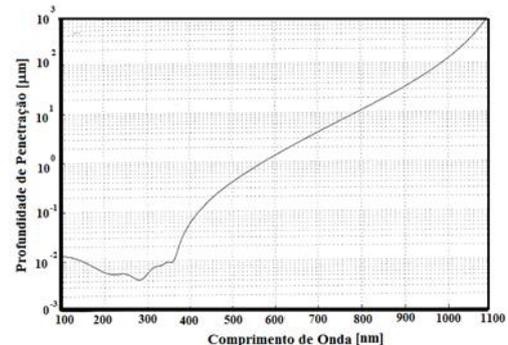


Figura 1- Representação gráfica da profundidade média de penetração de um fóton, em função de seu comprimento de onda.

## 2. Metodologia

Os dois dispositivos utilizados consistem em dois diodos PIN *multifingers*, onde cada *finger* consiste em uma região altamente dopada e uma região fracamente dopada, um deles com uma região intrínseca menor e um maior número de dedos (PIN-D), e o outro com uma região intrínseca maior e um número menor de dedos (PIN-U). Tabela 1 apresenta as dimensões dos dispositivos. Os diodos foram produzidos pelo clube de pesquisa pelo projeto o MOSIS usando a tecnologia IBM de 0,3  $\mu\text{m}$ , pelo laboratório IMEC localizado na Bélgica.

TABELA 1- Dimensões dos PIN's

	Ri( $\mu\text{m}$ )	Rp( $\mu\text{m}$ )	Rn( $\mu\text{m}$ )	W( $\mu\text{m}$ )	Fingers
PIN-D	0,3	3	3	270	84
PIN-U	1	3	3	270	69

Onde, Ri é o comprimento da região intrínseca, Rp é o comprimento de região dopada positivamente (região com material P), Rn é o comprimento de região negativamente dopada (região com material N), W é a largura do dispositivo.

Para uma melhor compreensão do dispositivo, na Figura 2 está representando regiões de depleção que são chamadas região de depleção vertical (RDDV) e região de depleção lateral (RDDL).

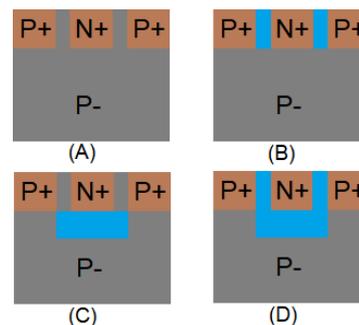


Figura 2 – A) diodo com dois dedos por uma visão lateral. B) Visão lateral das RDDL's. C) Visão lateral das RDDV's. D) RDDV's e RDDL's do diodo.

### 3. Resultados

Os dados foram coletados utilizando LED's de alto brilho como fonte de luz, as potências já haviam sido analisadas pelo grupo de pesquisa, limitando a corrente e a tensão nos LED's. A capsula que o chip estava tinha a temperatura controlada pelo sistema de variação de temperatura da tecnologia MMR, e as medições foram executadas pelo analisador de parâmetros *Agilent 4156C*, a temperatura da câmara era de 325 K.

#### 3.1. Corrente Fotogerada

A fim de ter uma melhor compreensão do desempenho dos PIN's sobre diferentes comprimentos de onda ( $\lambda$ ), quatro cores diferentes de LED's foram utilizadas, que são: azul, verde, amarelo e vermelho. Além disso, a corrente de escuro foi avaliada sem luz incidente. Nos gráficos, os quadrados representam a corrente de escuro, os triângulos a corrente com incidência da luz azul, os triângulos virados à esquerda, a corrente da luz verde, os círculos, a corrente da luz amarela, e o losango representa a corrente referente à luz vermelha. Além disso, os símbolos vazios representam o PIN-U e os preenchidos representa os dados do PIN-D. Na Figura 3 temos a representação gráfica das correntes fotogeradas e termogeradas.

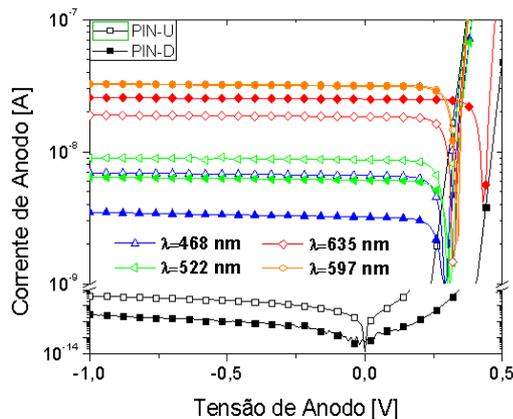


Figura 3 – Apresentação da variação do nível de corrente em função da tensão do ânodo, numa potência incidente  $0,2 \text{ W/m}^2$ .

Podemos notar que as correntes referentes às cores azul e verde foram as que obtiveram um baixo valor de corrente fotogerada, isso se dá por elas possuírem um valor de  $\lambda$  menor, então sua taxa de penetração é menor, com isso, é mais absorvida na RDDL e possuindo um valor maior no PIN-U, pois este tem uma Ri. Já a cor amarela possui um  $\lambda$  grande o suficiente para alcançar a RDDV, e assim tendo o maior valor de corrente e não possuindo uma distinção clara do PIN-U para o PIN-D. A cor vermelha por ter um  $\lambda$  maior, acaba ultrapassando a RDDV e sendo absorvida numa região onde já há uma maior taxa de recombinação elétron-lacuna, mas possuindo uma resposta melhor no PIN-D, pois ela pode ser mais absorvida na RDDL.

### 3.2. Responsividade

Um fator importante para determinar a eficiência de um fotodetector é a Responsividade, que é a proporção da corrente fotográfica gerada pela potência óptica incidente, apresentada na Figura 4. [4]

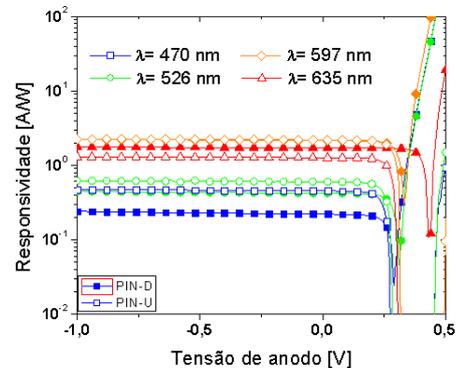


Figura 4 – Apresentação da Responsividade em função da tensão do ânodo, numa potência incidente  $0,2 \text{ W/m}^2$ .

A Responsividade seguiu a mesma regra que as correntes fotogeradas de cada PIN.

### 4. Conclusões

Podemos notar que há casos que é melhor utilizar um maior número de *fingers* do que uma maior Ri e vice-versa. Pois com uma Ri maior conseguimos obter uma melhor resposta de pequenos comprimentos de onda no espectro do visível. Já um maior número de *fingers*, conseguimos uma corrente fotogerada melhor para grandes comprimentos de onda. Também temos o ruído, que é a corrente de escuro que poderá interferir mais no PIN-U, pois este possui uma maior Ri que acaba sendo sensível ao calor e colocando um ruído.

### 5. Referências

- [1]. C. Novo, "Caracterização de Diodos Pin Laterais-Topologias, Características e Proposta de uma Nova Configuração", Centro Universitário FEI, 2017, pgs. 35-41.
- [2]. J.P. Colinge, C.A. Colinge, "Physics of Semiconductor Devices", Massachusetts: Academia de Kluwer, 2002.
- [3]. S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", John Wiley and Sons, Nova York: 1981, pgs 743-760.
- [4]. A. Afzalain, D. Flandre, "Physical modeling and Design of Thin-Film SOI Lateral p-i-n Photodiodes". IEEE Trans. On Electron Devices, v. 52, n. 6ª Edição, 2005, pgs. 1116-1122.

### Agradecimentos

À instituição Centro Universitário FEI pela realização das medidas e empréstimo de equipamentos, CNPq, MOSIS e ao Namitec.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI, Projeto com vigência de 10/17 a 09/18. RA. 11.216.080-9. Bolsa PBIC FEI