

## MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE DIODOS EMISSORES DE LUZ (LED's)

FERNANDES, José M. R.<sup>1</sup>; MACHADO, P. C. M.<sup>2</sup>

Palavras-chave: LED's, junção *pn*, modelagem e simulação.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos dispositivos semicondutores mais utilizados é o Diodo Emissor de Luz (LED). LED's são junções P-N que podem emitir espontaneamente radiações nas regiões do ultravioleta, visível e infravermelho.

Nestes últimos anos foi possível observar um grande avanço tecnológico em se tratando de fontes luminosas. Desde o filamento de carbono, passando pela lâmpada incandescente, lâmpadas de vapor metálico e alcançando a tecnologia atual dos Diodos Emissores de Luz (LED's) de diferentes materiais.

Com o tempo os pesquisadores perceberam a importância dos LED's para outras demandas da sociedade, como seu uso nas Telecomunicações. Desejava-se explorar o máximo da capacidade das fibras ópticas e para isso era necessária a evolução destes dispositivos. A partir de então, a fabricação de LED's não parou de crescer, alcançando grandes proporções de trabalhos numa busca pela emissão em vários comprimentos de onda.

A necessidade de reduzir o tempo e o custo do desenvolvimento de tais dispositivos tem levado a um crescente interesse em modelá-los e prever o seu desempenho antes de sua fabricação. Para que tais dispositivos sejam efetivamente projetados é importante conhecermos como estes dispositivos operam e sermos capazes de caracterizá-los. É necessário então desenvolvermos modelos físicos destes dispositivos que permitam a simulação numérica de sua operação para que possam ser projetados, otimizados e fabricados com a precisão requerida.

### 2. METODOLOGIA

Primeiramente fizemos um levantamento das referências bibliográficas relativas ao dispositivo semicondutor a ser estudado (LED), verificando o estado da arte.

Em seguida, fizemos o estudo da teoria de Física do Estado Sólido necessária para o desenvolvimento do modelo a ser utilizado e pesquisamos a respeito dos parâmetros a serem utilizados no modelo.

Com a teoria estudada partimos para o desenvolvimento de um programa computacional em ambiente MATLAB para fins de simulação de um LED e entendimento de seu princípio de funcionamento.

Depois de desenvolvido o programa, fizemos diversas simulações para vários materiais diferentes, observando a curva característica tensão-corrente, a região em que a radiação é emitida e a intensidade do espectro da radiação emitida e comparando com a literatura para fins de validação do modelo.

Finalmente partimos para a redação do relatório final com todos os resultados alcançados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No programa escolhemos o material semicondutor, por exemplo Arseneto de Gálio, Fosfeto de Gálio, Nitreto de Gálio, Carbeto de Silício, entre outros. É bom lembrarmos que a escolha do material a ser usado é muito importante porque o comprimento de onda da luz emitida dependerá do GAP deste material. A partir da escolha do material determinamos os dados de entrada daquele material. Estes dados são: massa efetiva do elétron, massa efetiva da lacuna, energia de GAP a

300K, mobilidade dos elétrons e das lacunas e tempo de vida dos elétrons e das lacunas. Além disso entramos também com os níveis de dopagem.

Antes predefinimos as constantes físicas envolvidas nos cálculos dos parâmetros. São elas: carga elétrica elementar, constantes de Plank e Boltzmann, temperatura, massa do elétron, permissividade elétrica do vácuo e área do LED modelado.

Com estes dados realizamos então os cálculos necessários para a determinação das saídas. Assim calculamos o nível de Fermi intrínseco e extrínseco, o potencial de contato, a concentração de elétrons e lacunas, o posicionamento das bandas de valência e condução, a largura da região de depleção, o posicionamento da zona de depleção, a corrente através do LED, a função probabilidade de Fermi-Dirac para os elétrons e lacunas, a densidade de estados para os elétrons e lacunas e a intensidade espectral do LED.

Assim para cada tipo de material escolhido temos um conjunto de saídas. Abaixo serão apresentados alguns dos resultados obtidos para um dos materiais simulados.

### Material: Nitreto de Gálio – GaN

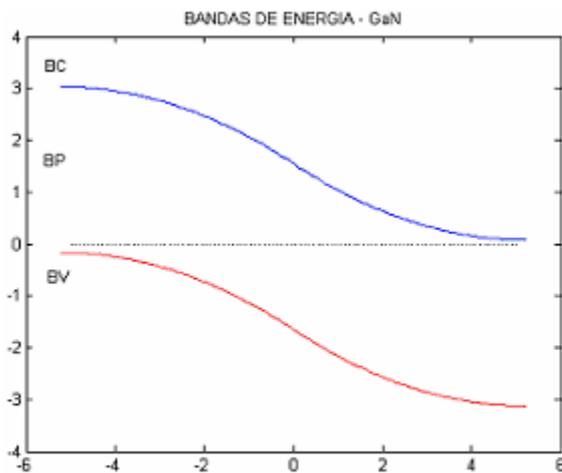


Figura 1. Bandas de Energia

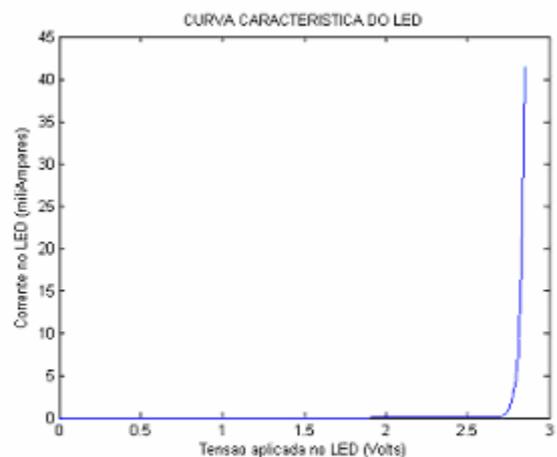


Figura 2. Curva Característica do Dispositivo

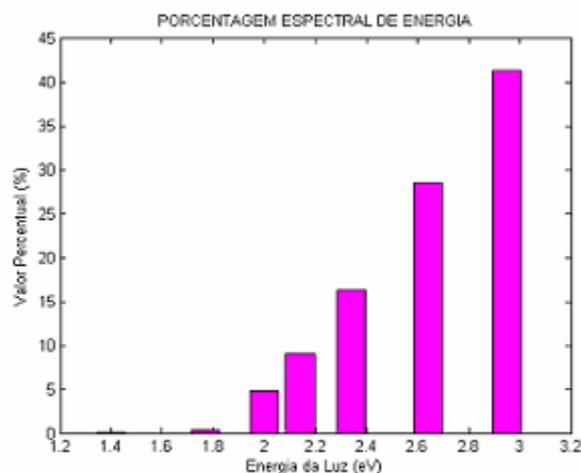


Figura 3. Intensidade Espectral

Os gráficos das Bandas de Energia apresentam o posicionamento das Bandas de Valência, Banda Proibida (GAP) e Banda de Condução. A Curva Corrente x Tensão é um dos parâmetros mais importantes quando falamos em dispositivos semicondutores, sendo conhecida também como Curva Característica do dispositivo. Ela apresenta o comportamento do dispositivo quando em operação, ou

seja, quando aplicamos uma tensão podemos conhecer o comportamento da corrente que passará através do dispositivo. E por último temos os gráficos de Intensidade Espectral, nele são apresentadas as porcentagens de energia emitidas e com isso saberemos qual é a porcentagem de cada cor emitida. O LED emite vários comprimentos de onda, mas um deles é predominante.

Observe a tabela a seguir. Ela contém a quantidade de energia predominante de cada cor.

Cores do espectro visível		
Cor	Comprimento de onda	Energia
Vermelho	~ 625-740 nm	1,77 eV
Laranja	~ 590-625 nm	2,00 eV
Amarelo	~ 565-590 nm	2,16 eV
Verde	~ 500-565 nm	2,34 eV
Azul	~ 440-485 nm	2,64 eV
Violeta	~ 380-440 nm	2,95 eV

Tabela 1. Energia emitida por cada Cor do espectro visível

Comparando os gráficos da intensidade espectral podemos observar que obtivemos resultados bem coerentes. No programa fizemos cada gráfico coincidir com a cor predominante emitida por aquele tipo de material para uma melhor visualização. Assim, para o LED de Nitreto de Gálio (GaN) por exemplo, o gráfico da Intensidade Espectral, que possui um pico de intensidade em torno de 2,9 e 3,0 eV, foi traçado na cor violeta, ou seja, na cor correspondente àquela energia.

#### 4. CONCLUSÃO

Na primeira parte da pesquisa nos concentramos em adquirir conhecimentos teóricos sobre o princípio de funcionamento do Diodo Emissor de Luz (LED).

A partir daí criamos um programa computacional que simula o LED segundo os parâmetros do material utilizado em sua fabricação. Este programa nos fornece, entre outras coisas, a curva característica (tensão versus corrente), a região do espectro eletromagnético em que se dá a irradiação (cor do LED) e a intensidade de espectro do LED, mostrando a porcentagem de radiação de cada uma das sete cores na emissão desse LED.

Assim percebemos então que conforme a escolha do material teremos uma cor do espectro sendo emitida. Conforme visto na literatura estudada esperávamos que O LED de GaP produzisse luz entre amarelo e verde. O LED de GaN violeta. O LED de SiC verde. O LED de AIAs amarelo e LED de CdSe vermelho, entre outros. Para todos estes LED's obtivemos resultados conforme o esperado.

A intensidade da cor dependerá da corrente aplicada, pois o aumento desta corrente implica no aumento da quantidade de portadores minoritários injetados e conseqüentemente, no aumento da taxa de recombinação entre elétrons e lacunas. Sabemos que o GAP entre as bandas se altera à medida que a temperatura aumenta, dirigindo-se para altos comprimentos de onda. Por isso estabelecemos uma temperatura de 300K para as simulações.

Podemos ver que a quantidade de energia liberada depende da energia do GAP (Banda Proibida) e esta depende do material semicondutor empregado. Assim se quisermos um LED de uma determinada cor, teremos que escolher o material do tipo

certo. Além disso, essa cor dependerá também da dopagem feita no material. Os níveis de dopagem são também parâmetros de entrada do programa.

Outra conclusão importante que podemos tirar é que a frequência da radiação será tanto maior quanto maior for a energia do GAP.

No mais, esperamos que esse modelo nos dê não só uma melhor compreensão da operação destes dispositivos semicondutores, mas também nos forneça um instrumento de aprendizagem para alunos que tenham interesse em estudar melhor algumas das características de um LED.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ADACHI, S., *GaAs and Related Materials*, World Scientific, Singapore, 1994.
2. Artigos publicados no *IEEE Trans. Electron. Dev.* e *IEEE Trans. Microwave Theory Techniq.*
3. MACHADO, P. C. M. ; BRIGATTO, G. A. A. ; *Materiais Elétricos - Notas de Aula*, EEEEC, UFG, 2003.
4. RIBEIRO, J. A. J. , *Comunicações Ópticas*, Érica. São Paulo, 2003.
5. SEDRA e SMITH, *Microeletrônica*, Makron Books. São Paulo, 2000.
6. SELBERHERR, S., *Analysis and Simulation of Semiconductor Devices*, Springer-Verlag, 1984.
7. SNOWDEN, C. M., *Semiconductor Device Modelling*, Springer-Verlag, 1989.
8. SZE, S. M., *Semiconductor Devices: Physics and Technology*, John Wiley & Sons, 1985.

CNPq / PIBIC

---

<sup>1</sup> Aluno de iniciação científica. Escola de Engenharia Elétrica e de Computação EEEEC, [josemrf@pop.com.br](mailto:josemrf@pop.com.br) .

<sup>2</sup> Orientador/EEEC/UFG, [pcmachado@hotmail.com](mailto:pcmachado@hotmail.com) .