

INVESTIGAÇÃO FÍSICO-MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL DO COMPORTAMENTO DE UM DIODO SEMICONDUTOR CONSIDERANDO PROCESSO DE RECOMBINAÇÃO ELÉTRON-BURACO

Rafael Belo de Souza ¹ & Marcelo Azevedo Neves ²

1. Aluno de Iniciação Científica Não Bolsista, Discente do Curso de Licenciatura em Física, ICE/UFRRJ;
2. Professor do DEFIS/ICE/UFRRJ.

Palavras-chave: Junção p-n; recombinação elétron-buraco, simulação computacional.

Introdução

O Projeto consiste em realizar uma investigação do efeito da recombinação elétron-buraco em dispositivos semicondutores com junção p-n, notoriamente um diodo. Como objeto de investigação principal, considerou-se que a recombinação elétron-buraco não ocorre apenas na fronteira entre regiões n e p da junção p-n, mas sim que agora seria possível em toda a extensão do diodo e expressa pelo Termo de Recombinação de Shockley-Read-Hall, R_{SRH} . Foi construído o modelo físico-matemático que abarca esta hipótese e a mesma foi avaliada por simulação computacional usando o pacote comercial COMSOL Multiphysics 3.5a. Os resultados deste Projeto de Iniciação Científica se articulam com os do Projeto Institucional SUPERCABO (P&D ANEEL-CEMIG-CTEEP-TAESA-TBE-UFRRJ-FAPUR) coordenado pelo Orientador (M. A. Neves).

Metodologia

A metodologia de pesquisa consistiu em partir das equações básicas que descrevem o diodo semicondutor (junção p-n com contatos metálicos) nas quais se assumiu que a aplicação de um campo elétrico (representado pelo gradiente do potencial elétrico) na amostra, produz uma corrente de elétrons e buracos no material semicondutor. Esta corrente altera a distribuição de portadores na amostra, ou seja, muda a concentração de elétrons de condução (n) e a concentração de buracos (p), e isto cria na amostra regiões com alta concentração de portadores e regiões com baixa concentração. A figura 1 mostra a geometria do diodo virtual estudado.

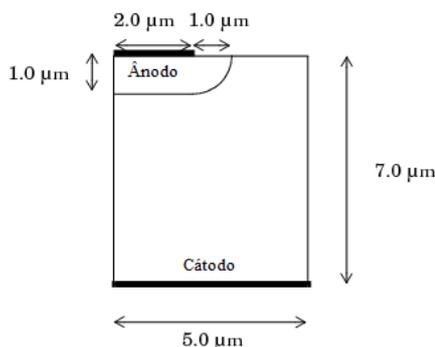


Figura 1: Representação esquemática do diodo para a simulação indicando o lado p (acima a esquerda) e o lado n.

Este gradiente na concentração de portadores origina uma corrente de difusão de elétrons (e de buracos), pois elétrons tendem a se mover de regiões que contém altas concentrações de elétrons para regiões que contém baixas concentrações de elétrons, visto que as cargas não estão fixas no interior do semicondutor. Um processo análogo ocorre com os buracos.

Esta alteração na distribuição dos portadores da amostra causada pelo campo elétrico aplicado, por sua vez, provoca uma mudança no campo elétrico interno. Surge uma nova

configuração para o campo elétrico que provoca uma nova corrente que novamente altera a distribuição de portadores e assim sucessivamente, tornando o processo auto-sustentável e dinâmico. Durante este processo, pode haver recombinação entre elétrons e buracos, afetando a densidade de portadores de carga em ambos os lados da junção p-n. A física do diodo semiconductor foi descrita por um conjunto de três equações acopladas que relacionam o campo elétrico, a concentração de elétrons de condução e a concentração de buracos.

Neste projeto se simulou um diodo semiconductor de formato real usando o pacote computacional COMSOL Multiphysics, considerando o termo de Recombinação de Shockley-Read-Hall R_{SRH} como válido para toda a extensão do diodo.

Resultados e Discussão

Foi realizada a dedução físico-matemática do Termo de Recombinação de Shockley-Read-Hall, R_{SRH} , para construção do modelo deste diodo. No total, foram obtidos por simulação computacional os seguintes resultados: a curva característica corrente vs. voltagem (“curva I-V”) do diodo (em escalas lineares, conforme pode ser visto na figura 2, mono-log e di-log) em polarização direta, a distribuição de potencial elétrico interno (barreira), a norma do campo elétrico interno, as concentrações dos portadores de carga tanto minoritários como majoritários em cada lado da junção p-n, as densidades de corrente de difusão, de deriva e total de cada portador de carga.

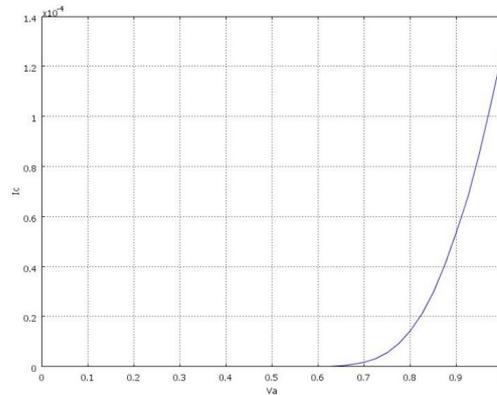


Figura 2: Curva I-V do diodo simulado computacionalmente.

Os resultados, considerando os processos de recombinação, diferem do que é usualmente apresentado quando o Termo de Recombinação de Shockley-Read-Hall está ausente da modelagem. As curvas obtidas apresentam a forte dependência das concentrações e das correntes com o fenômeno de recombinação elétron-buraco.

Conclusão

A partir dos resultados, concluímos que foi possível programar a recombinação elétron-buraco por toda a extensão do diodo no modelo físico deste dispositivo e efetivar sua simulação computacional, tal que foi possível verificar respostas diferenciadas das obtidas em modelos convencionais que só consideram a recombinação na fronteira entre região n e região p.

Referências Bibliográficas

- MELLO, H. A.; BIASI, R. S. Introdução à Física dos Semicondutores. São Paulo: Edgard Blücher, 1975.
- REZENDE, S. M. Materiais e Dispositivos Eletrônicos. 2ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.
- SZE, S. M.; NG, Kwok K. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. Hoboken: J. Wiley & Sons, 2007.
- SABONNADIÈRE, J.-C.; COULOMB, J.-L. Elementos Finitos e CAE: Aplicações em Engenharia Elétrica. São Paulo: Aleph, 1993.
- COMSOL. COMSOL Multiphysics®: User's Guide. Version 3.5a. Burlington. COMSOL AB. Nov. 2008. CD-ROM.