

Laboratório de Fenômenos Eletromagnéticos

Experimento 9

Diodo semiconductor

Introdução

Materiais semicondutores são a base de todos os dispositivos eletrônicos atuais. Um semiconductor pode ter a sua condutividade controlada por meio da adição de átomos de outros materiais, em um processo chamado de dopagem. A dopagem cria níveis de energia nas bandas de energia proibidas entre a banda de valência e de banda de condução. Em geral, os dopantes são inseridos em camadas no cristal semiconductor. Existem dois tipos de dopagem: na dopagem tipo n , um elemento doador de elétrons é inserido na rede cristalina, criando novos níveis de energia próximos à banda de condução, fazendo com que os principais portadores de carga sejam negativos, (elétrons). Já na dopagem tipo p usa-se um elemento com um elétron a menos do que o elemento constituinte do cristal semiconductor, o que cria níveis de energia próximos à banda de valência, o que faz com que os portadores principais de carga sejam positivos (vacâncias ou buracos). Diferentes dispositivos são construídos dispondo-se adequadamente camadas com diferentes dopantes. Observe a Figura 1 abaixo, ela apresenta o esquema de uma diodo semiconductor.

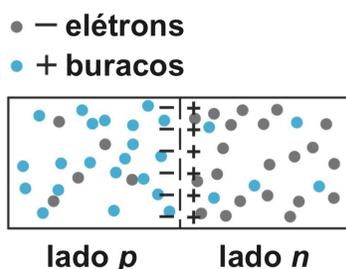


Figure 1: Junção pn – diodo semiconductor

Um diodo semiconductor é uma junção de uma camada de semiconductor tipo n com outra camada de semiconductor tipo p . Os elétrons próximos à junção difundem da região n para a região p , enquanto os buracos difundem no sentido oposto. Quando os elétrons e os buracos se encontram

eles se recombinam, deixando, na interface, uma região com íons positivos e negativos dos dopantes. Essa região é desprovida de portadores de carga e é chamada de região de depleção. Os íons criam um campo elétrico, na região de depleção, que impede a continuidade da difusão de elétrons e de buracos.

Se conectarmos uma junção pn a uma fonte de força eletromotriz, ela permitirá o fluxo de corrente em apenas um sentido, da região p para a região n . Considere o caso em que um diodo está conectado a uma fonte de força eletromotriz de forma que o terminal positivo, da fonte, esteja conectado ao lado p do diodo, ou seja, a região p está em um potencial mais alto que a região n . Essa configuração recebe o nome de polarização direta e a fonte injeta, continuamente, elétrons na região n , ao mesmo tempo que remove outros elétrons, ou equivalentemente injeta buracos, na região p . Nessa situação, o campo elétrico da fonte tem sentido oposto ao campo dos íons da região de depleção. Essa região então fica mais estreita e facilita o fluxo de cargas através da interface. Se invertermos os terminais da fonte, a região p ficará em um potencial menor que a região n e dizemos que nesse caso a polarização é inversa. A região de depleção se alarga, o que reduz a corrente através do diodo.

A parte (a) da Figura 2 mostra a situação em que o diodo é polarizado diretamente. Nessa situação, com uma tensão superior à tensão de corte, V_F , haverá corrente no circuito. Quando polarizado reversamente, como mostrado na parte (b) da Figura 2, o diodo impede a circulação de cargas, comportando-se como uma chave aberta.

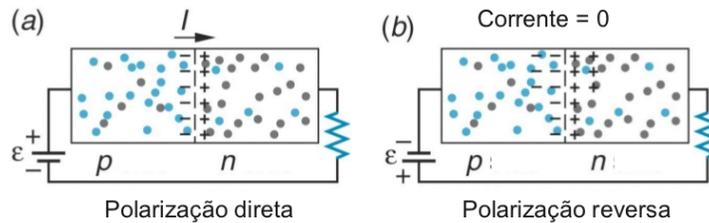


Figure 2: Na parte (a) temos um diodo polarizado diretamente, permitindo a passagem de corrente se a tensão aplicada é maior que a tensão de corte. Na parte (b) temos um diodo polarizado reversamente, que impede a passagem de corrente e se comporta como uma chave aberta.

Na Figura 3 apresentamos o gráfico da corrente em um diodo em função da tensão aplicada. Teoricamente, a dependência da corrente (I) com a tensão (V) em um diodo é dada pela equação de Ebers-Moll:

$$I = I_S(e^{V/\eta V_T} - 1) \quad (1)$$

que, para $V > 0,1 V$ pode ser aproximada por,

$$I = I_S e^{V/\eta V_T} \quad (2)$$

em que I_S é uma pequena corrente, aproximadamente constante, que aparece em polarização reversa e η é chamado “fator de idealidade” que depende da fabricação do diodo (tipo de material, dopagem, etc). V_T é uma constante de origem térmica dada por,

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1,38 \times 10^{-23}}{1,60 \times 10^{-19}} T \rightarrow V_T = \frac{T}{11600} \quad (3)$$

onde k é a constante de Boltzmann, q é a carga do elétron e T é a temperatura absoluta (Kelvin). Para uma temperatura ambiente de $27^\circ C \approx 300 K$, $V_T = 26mV$.

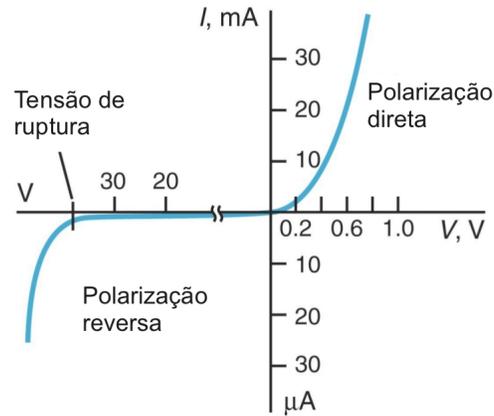


Figure 3: Curva característica de um diodo. Se a polarização é reversa a corrente é praticamente nula, se a polarização é direta, para $V > V_F$ o aumento da corrente com a tensão é rápido. A tensão de ruptura é a tensão acima da qual a zona de depleção deixa de existir devido ao campo elevado na interface, ocorre ruptura dielétrica.

Equipamento

Utilizaremos o seguinte material:

- Diodo semiconductor.
- Fonte de força eletromotriz.
- Resistor de 150Ω .
- Protoboard para fazer as conexões.
- Cabos banana para auxiliar na montagem.
- Cabos banana-jacaré.
- Três multímetros.

Parte experimental

Objetivos

1. Observar o comportamento de um diodo semiconductor em polarização direta e polarização reversa.
2. Levantar a curva $I \times V$ do diodo.
3. Obter os valores experimentais de I_S e η .

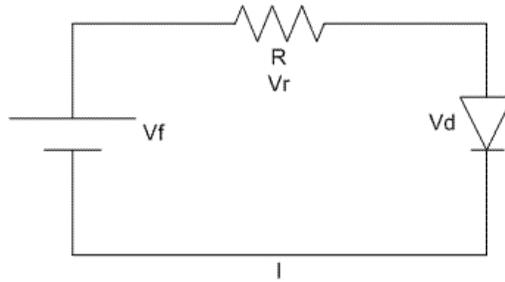


Figure 4: Circuito envolvendo uma fonte, um diodo e um resistor.

Procedimentos

1. Monte o circuito apresentado na Figura 4. Um multímetro é colocado para medir a tensão de saída da fonte, outro para medir a tensão no diodo e o último para medir a corrente no circuito.
2. Ajuste a tensão na fonte para 5V. Observe a leitura do amperímetro.
3. Inverta os terminais do diodo e observe a leitura do amperímetro. Isso vai ajudar a determinar qual é a posição em que há polarização direta e em qual ocorre polarização reversa.
4. Coloque o diodo em polarização direta e a tensão na fonte igual a zero. Aumente a tensão lentamente e anote pares de valores da tensão no diodo e corrente no circuito. Não ultrapasse correntes de 10mA. Tente determinar a tensão de corte V_F .
5. A corrente no circuito pode ser calculada por $I = (V - V_F)/R$, onde V é a tensão na fonte, V_F é a tensão de corte e R é a resistência. Utilizando o valor de V_F obtido anteriormente, o valor da resistência e uma tensão na fonte de $V = 3V$, calcule o valor de I e compare com o valor medido no circuito.
6. Usando os pares de valores obtidos no item anterior, construa um gráfico $I \times V$ para o diodo. Através de um ajuste gráfico usando a função dada nesse roteiro, obtenha valores para I_S e η .

Referências

- Sze, S.M., Physics of Semiconductors Devices, 2ed. New York: John Wiley, 1981, cap 12.
- Física Experimental Básica na Universidade, Campos, A.A., Alves, E.S., Speziali, N.L., Editora UFMG, p145 -151
- Fundamentos de Física, Volume 4, Halliday, Resnick, Walker, 8ed., cap 41