física/quântica
filofima.com.br

Propriedades do LED (Light Emitting Diode)

1) Introdução

O diodo emissor de luz, também conhecido pela sigla em inglês LED (Light Emitting Diode), é usado para a emissão de luz em locais e instrumentos onde se torna mais conveniente a sua utilização no lugar de uma lâmpada. Especialmente utilizado em produtos de microeletrônica como sinalizador de avisos, também pode ser encontrado em tamanho maior, como em alguns modelos de semáforos. Também é muito utilizado em painéis de LED, cortinas de LED, pistas de LED e postes de iluminação pública, permitindo uma redução significativa no consumo de eletricidade. (Conf. Wikipedia)

O LED surgiu comercialmente em 1962 baseado no arsenieto de gálio, GaAs, um semicondutor natural que emite luz no infravermelho. Sua composição simplificada é mostrada na Fig. 1.

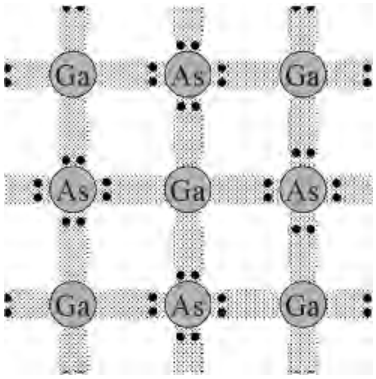

Figura 1 – Estrutura cristalina simplificada do arseneto de gálio. Gálio (Ga) é trivalente, arsênio (As) é pentavalente. A composição é eletricamente neutra: $n_{Ga} = n_{As}$.

2) Estrutura básica

Em um LED como mostrado na Fig. 2, elétrons descem pelo anodo devido à tensão nos terminais, deixando lacunas no semicondutor. Outros elétrons sobem o catodo e tem-se a recombinação com as lacunas no semicondutor, quando é emitido determinado fóton (infravermelho).

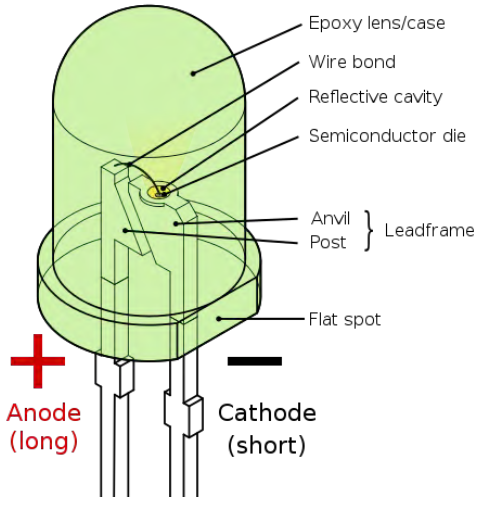

Figura 2 – Construção de um LED. Notar separação entre anodo e catodo. (Conf. Wikipedia)

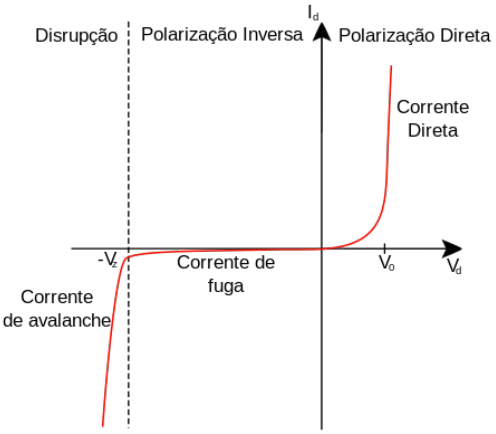

Figura 3 - No gráfico, V_0 é a tensão de corte, ou de condução; é a tensão necessária para superar a da zona de depleção.

Propriedades do LED (Light Emitting Diode)

Versões mais recentes usam junção PN para emissão de luz no espectro visível, conforme ilustrado na Fig. 4. No caso, o lado P é suficientemente fino para permitir a passagem do fóton emitido na zona de depleção.

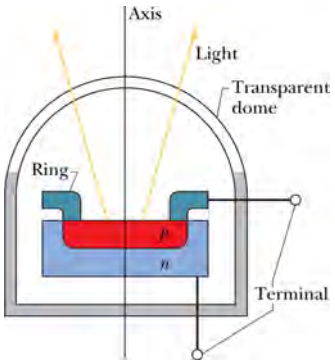

Figura 4 – Notar que anodo e catodo estão conectados aos materiais tipo P e tipo N (Conf. Tipler)

A tensão de ativação é a tensão na zona de depleção, $V_0 = V_{bi}$. No semicondutor esta tensão é função dopagem e da temperatura.

$$V_{bi} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{N_D N_A}{n_i^2}\right) \tag{2}$$

onde

- k_B: constante de Boltzmann,
- T: temperatura,
- q: carga elementar do elétron
- N_D, N_A: concentração de portadores de carga de doadores e de aceitadores, respectivamente,
- n_i: concentração de portadores de carga intrínseco.

Verifica-se um limite para dopagem de um semicondutor: limite da degenerescência (quando o semicondutor passa a ter comportamento metaloide). Fala-se em energia de gap efetiva (ou funcional), E_g^*, na zona de depleção.

$$\frac{qV_{bi}}{E_g - 6k_B T} \cong \bar{\alpha} < 1 \tag{3}$$

onde

- E_g: energia de gap (associada ao material semicondutor intrínseco, ou seja, não dopado).
- $\bar{\alpha} = \frac{\alpha_D + \alpha_A}{2}$ é a média dos coeficientes de dopagem.

Com relação à produção de material tipo P ou tipo N uma possibilidade é usar o conceito de batelada,

$$m_d = \frac{M}{\rho_s\left(\frac{N_A}{N_d \cdot \mathcal{M}_d} - \frac{1}{\rho_d}\right) + 1} \tag{4}$$

onde

- Impureza $(d) \rightarrow m_d$: massa (a ser adicionada à batelada); N_d: concentração (admitindo-se que concentração de portadores de carga é equivalente à concentração de átomos); $\mathcal{M}_d$: massa molar; ρ_d: densidade.
- Substrato $(s) \rightarrow \rho_s$: densidade
- M: massa total, N_A: número de Avogadro

física/quântica
filofima.com.br

Propriedades do LED (Light Emitting Diode)

3) Problema

Dois materiais exibem propriedades adequadas para a fabricação de LED que emite luz no espectro infravermelho, Arsenieto de Gálio (GaAs) e Fosfato de Índio (InP). Além do semicondutor, a emissão de luz de certo comprimento de onda, λ, é determinada pela dopagem (N_A e/ou N_D) e temperatura de operação, T.

Para o material GaAs a dopagem acontece quando $n_{\mathrm{Ga}} \neq n_{\mathrm{As}}$, ou quando parte do gálio é substituído por um outro material pentavalente como o fósforo (P) — material tipo N — ou ainda, quando parte do arsênio é substituído por material trivalente como o alumínio (Al) — material tipo P. Assim, para uma junção PN submetida à uma tensão mínima V_0, elétrons migram da banda de condução para a banda de valência, na zona de depleção, emitindo luz com comprimento de onda λ, quando à temperatura T.

Adotar coeficientes de dopagem equivalentes, $\alpha_D = \alpha_A$.

a) Com os dados do LED de GaAs, verificar a viabilidade de se produzir o LED, ou seja, se $\alpha < 1$.
b) Determinar a concentração de portadores de carga positiva do lado P, dopado com alumínio, N_A, e a concentração de portadores de carga negativo do lado N, dopado com fósforo, N_D.
c) Determinar a porcentagem de dopagem em relação à degenerescência, P_A e P_D.
d) Pretende-se preparar material para fabricar LED GaAs.
  i) O material tipo P terá massa M, formando um bulk. Determinar a massa de Alumínio (Al).
  ii) O material tipo N terá massa M, formando um bulk. Determinar a massa de Fósforo (P).

4) Dados estruturais

Semicondutor Arsenieto de Gálio (GaAs)

E_g / eV	m_n/m_e	m_p/m_e
1,42	0,067	0,47

Propriedade físicas do semicondutor e material dopante

	GaAs	Al	P
Densidade: ρ / g · cm^{-3}	5,316	2,70	1,88
Massa molar: $\mathcal{M}$ / g · mol^{-1}	72,3223	26,981539	30,973762
Volume molar: $\mathcal{V}$ / cm^3 · mol^{-1}	13,605	9,993	16,475

Algumas constantes físicas

Constante	Símbolo	Estimativa
Velocidade de luz	c	$2{,}998 \times 10^{8}$ m · s^{-1}
Carga elementar	e	$1{,}602 \times 10^{-19}$ C
Massa do elétron	m_e	$9{,}109 \times 10^{-31}$ kg
Constante de Planck	h	$6{,}636 \times 10^{-34}$ J · s
Constante de Boltzmann	k_B	$1{,}381 \times 10^{-23}$ J · K^{-1}
Número de Avogadro	N_A	$6{,}022 \times 10^{23}$ mol^{-1}

física/quântica
filofima.com.br