

ESAME TELEMATICO DI DISPOSITIVI ELETTRONICI
14 Gennaio 2021

Un diodo LED p^+n è realizzato con un semiconduttore in tutto simile al silicio, a parte il gap diretto. Il diodo ha $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_p = 0.04 \text{ m}^2/\text{Vs}$, $L_p = 30 \text{ }\mu\text{m}$, $S = 1 \text{ mm}^2$, lunghezza della base $W_n = 30 \text{ }\mu\text{m}$. Il diodo è polarizzato con $V = 0.6 \text{ V}$.

1) Determinare i profili dell'eccesso dei portatori maggioritari e minoritari, nonché la corrente nel diodo (trascurare l'ampiezza della regione di svuotamento). [10]

2) Determinare la potenza luminosa emessa, assumendo che una ricombinazione su dieci (efficienza 10%) che avviene nel semiconduttore emetta un fotone di energia E_G . SUGGERIMENTO: calcolare la frazione di corrente dovuta alla ricombinazione nel semiconduttore. [12]

3) Si confronti la potenza luminosa con: a) quella di un diodo simile realizzato a base lunga; b) quella di un diodo simile realizzato a base corta con $W_n = 5 \text{ }\mu\text{m}$. [8]

SOLUZIONE

1) Calcoliamo:

$$\begin{aligned} D_p &= \frac{kT}{q} V_T = 1.03 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \\ L_p &= \sqrt{D_p \tau_p} \\ \tau_p &= \frac{L_p^2}{D_p} = 0.9 \text{ }\mu\text{s} \end{aligned}$$

Calcoliamo l'eccesso di portatori minoritari in zero (all'estremo della regione di svuotamento) e risolviamo l'equazione di continuità con le opportune condizioni a contorno ($W = W_n = L_p$):

$$\begin{aligned} \delta p(0) &= \frac{n_i^2}{N_D} \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) = 2.71 \times 10^{20} \text{ m}^{-3} \\ \delta p(W) &= 0 \\ \delta p(x) &= A e^{\frac{x}{L_p}} + B e^{-\frac{x}{L_p}} \end{aligned}$$

Quindi:

$$\begin{aligned}\delta p(0) &= A + B \\ \delta p(W) &= Ae^{\frac{W}{L_p}} + Be^{-\frac{W}{L_p}} = Ae + Be^{-1}\end{aligned}$$

Risolvendo:

$$\begin{aligned}A &= -0.42 \times 10^{20} \text{ m}^{-3} \\ B &= 3.13 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}\end{aligned}$$

L'eccesso di portatori maggioritari è uguale a quello di portatori minoritari. La corrente si può calcolare come corrente di diffusione in 0:

$$\begin{aligned}I &= -qSD_p\delta p(x)|_{x=0} = -qSD_p\left(\frac{A}{L_p} - \frac{B}{L_p}\right) \\ I &= 1.96 \text{ mA}\end{aligned}$$

2) Essendo il diodo a base media, parte delle lacune si ricombinano nel semiconduttore, parte arrivano sul contatto. Solo le lacune che si ricombinano nel semiconduttore possono emettere luce, con efficienza del 10%. La corrente si può scrivere come $I = I_{contatto} + I_{scd}$, dove I_{scd} è la parte di corrente dovuta alla ricombinazione nel semiconduttore. NOTA: nel caso del transistor bipolare, la parte di corrente che si ricombina in base è la corrente di base, $I_{scd} = I_B$. La potenza emessa è data dal numero di ricombinazioni al secondo, pari alla corrente diviso q , per l'energia emessa, pari a qE_G , se E_G è espressa in eV. Quindi:

$$\text{Pot} = \frac{I_{scd}}{q}qE_G \times \text{Efficienza} = I_{scd}E_G \times \text{Eff} \quad (1)$$

Quindi, come suggerito, il punto essenziale dell'esercizio è il calcolo di I_{scd} . Per fare questo, si possono seguire due strade: 1) si calcola la carica Q immagazzinata nel profilo, e si calcola I_{scd} con il modello a controllo di carica, $I_{scd} = Q/\tau_p$; 2) oppure, si calcola I_{scd} come differenza tra corrente di diffusione in 0 (che è la corrente totale del diodo) e la corrente di diffusione in W ; questo corrisponde a calcolare la corrente di base $I_B = I_E - I_C$ (I_E entrante, I_C e I_B uscenti). Le due strade sono equivalenti, la seconda però richiede

meno conti.

$$\begin{aligned} I_{diff}(W) &= -qD_pS \frac{d\delta p(x)}{dx} \Big|_{x=W} \\ I_{diff}(W) &= -qD_pS \left(\frac{A}{L_p} e - \frac{B}{L_p} e^{-1} \right) = 1.26 \text{ mA} \end{aligned}$$

Quindi avremo:

$$\begin{aligned} I_{scd} &= I_{diff}(0) - I_{diff}(W) = I - I_{diff}(W) = 0.7 \text{ mA} \\ \text{Potenza} &= I_{scd} \times E_G \times 0.1 = 0.7 \times 10^{-3} \times 1.08 \times 0.1 = 76 \text{ } \mu\text{W} \end{aligned}$$

3) Nel caso di diodo a base lunga, tutta la ricombinazione avviene nel semiconduttore, per il resto non cambia niente. Calcoliamo la corrente totale, che dà tutta ricombinazione nel semiconduttore, e la potenza:

$$\begin{aligned} I &= qS \frac{D_p}{L_p} \frac{n_i^2}{N_D} \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) = 1.5 \text{ mA} \\ \text{Pot} &= I E_G \times \text{Eff} = 160 \text{ } \mu\text{W} \end{aligned}$$

Nel caso del diodo a base corta, in prima approssimazione le lacune iniettate si ricombinano tutte nel contatto, e quindi nessuna si ricombina nel semiconduttore. Di conseguenza, l'emissione luminosa è nulla.