Ejercicios de física de semiconductores

Enunciado 1

Segun la distribución de Fermi-Dirac y su representación gráfica, a un cierta temperatura T, ¿es más o menos probable que estén ocupados los estados en los niveles más bajos?.Razonar la respuesta.

Respuesta del ejemplo 1

La ecuación de Fermi-Dirac expresa la probabilidad de que un determinado estado de energía E esté ocupado por un fermión y viene dado por:

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp[(E - E_F)/kT]}$$

Por tamto, para una temperatura dada, el valor de esta expresión variará en proporción inversa al valor de la energia de nivel, lo que significa que los niveles de menos energía tienen más probabilidad de estar ocupados.

2.

Demostrar que en un semiconductor tipo n se tiene:

$$n_n = \frac{1}{2} \cdot N_d \left[1 + \left(1 + \frac{4 \cdot n_i^2}{N_d^2} \right)^{1/2} \right]$$

$$p_n = \frac{1}{2} \cdot N_d \left[-1 + \left(1 + \frac{4 \cdot n_i^2}{N_d^2} \right)^{1/2} \right]$$

donde n_n es la concentración de potadores mayoritarios y p_n la de portadores minoritarios

Resp 2

En general, todo cristal semiconductor dopado puede contener cargas debidas a los portadores o a los átomos de impurezas. Cuando el cristal es eléctricamente neutro la suma de todas las cargas debe ser cero.

Denotaremos por n_o y p_o las concentraciones de electrones y huecos, respectivamente. Si tenemos que N_d es la densidad de átomos dadores y N_a la de aceptores, de los cuales hay por unidad de volumen n_d y n_a átomos neutros, entonces habrá $N_a - n_a$ aceptores cargados negativamente. En estas condiciones podemos escribir la condición de de neutralidad eléctrica en la forma:

$$e(p_o - n_o + N_d - n_d - N_a + n_a) = 0$$

Si consideramos que todos los átomos están ionizados y que solo hay dadores (por tratarse de un semiconductor tipo n) la expresión anterior toma la forma:

$$p_n - n_n + N_d = 0 \qquad (1)$$

Por otro lado, sabemos que para todo semiconductor en equilbrio térmico se cumple:

$$n \cdot p = n_i^2 \qquad (2)$$

A partir de esas dos expresiones, tenemos:

$$p_n - n_n + N_d = 0 \Rightarrow \frac{n_i^2}{n_n} - n_n + N_d = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_i^2 - n_n^2 + n_n \cdot N_d = 0$$

y resolviendo la ecuación:

$$n_n = \frac{N_d \pm \sqrt{N_d^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2}$$

Pero tenemos que considerar que cuando no se tienen impurezas , n_n ha de ser igual a n_i , por lo que en la expresión anterior debemos tomar el sgno positivo para la raiz:

ha de ser igual a n_i , por lo que en la expresión anterior debemos tomar el sgno positivo para la raiz:

$$n_n = \frac{N_d + \sqrt{N_d^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2} = \frac{1}{2} \times N_d \left[1 + \left(1 + \frac{4 \cdot n_i^2}{N_d^2} \right)^{1/2} \right]$$

y esta es la expresión que nos da la concentración de mayoritarios.
Si en la ecuación (2) despejamos n en vez de p, resulta en (1):

$$p - (n_i^2 / P) + N_d = 0 \Rightarrow p_n^2 + N_d \cdot p_n - n_i^2 = 0$$

Y resolviendo:

$$p_n = \frac{-N_d \pm \sqrt{N_d^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2}$$

Como también en este caso p_n debe ser igual a n_i cuando no se tengan impurezas , tomaremos el signo positivo para la raiz:

$$p_n = \frac{-N_d + \sqrt{N_d^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2} = \frac{1}{2} \times N_d \left[-1 + \left(1 + \frac{4 \cdot n_i^2}{N_d^2} \right)^{1/2} \right]$$

y esta será la concentración de minoritarios en un semiconductor tipo n.

3.

Enunciado 3

Dado un semiconductor de Si a 300 ºK, calcular:
a) La resistividad intrínseca.
Tomar $n_i = 6,7 \cdot 10^{10} cm^{-3}$; $\mu_n = 1200\, cm^2 V^{-1} s^{-1}$;
$\mu_p = 250\, cm^2 V^{-1} s^{-1}$

b) La resistividad extrínseca de tipo n, si la densidad de átomos dadores es $N_d = 3,5 \cdot 10^{14} cm^{-3}$

c) La densidad de impurezas $N_d \; y \; N_a$ en función de su resistividad correspondiente.

Resp 3

a) Para un semiconductor intrinseco se tiene n = p = n_i por lo que su conductividad vendrá dada por:

$$\sigma = q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) = q \cdot n_i(\mu_n + \mu_p)$$

Y sabiendo la relación que liga la conductividad y la resistividad:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q \cdot n_i(\mu_n + \mu_p)} =$$

$$= \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19} C \times 6,7 \cdot 10^{10} cm^{-3} (1200 + 250 cm^2 V^{-1} s^{-1})} =$$

$$= 6,425 \times 10^4 \Omega \cdot cm$$

b) Para obtener la resistividad extrínseca de tipo n, consideramos:

$$n_n \simeq N_d >> p_n \simeq \frac{n_i^2}{N_d} \Rightarrow n_n \cdot \mu_n >> p_n \cdot \mu_p$$

y a partir de ahí:

$$\rho_n = \frac{1}{q \cdot N_d \cdot \mu_n} = 14,86\, \Omega \cdot cm$$

c) Si ρ_a ; ρ_d son las resistividades extrinsecas, las densidades de aceptores y dadores vendrán dadas, respectivamente, por:

$$N_a = \frac{1}{q \cdot \mu_p \cdot \rho_a} \quad ; \quad N_d = \frac{1}{q \cdot \mu_n \cdot \rho_d}$$

4.

Considérese una lámina u oblea homogénea de Silicio tipo n, con $N_d = 2,25 \times 10^{15} cm^{-3}$ a 300 ºK, iluminada uniformemente con luz monocromática en situación estacionaria. Antes de la iluminación la oblea se encuentra en equilibrio. Calcular las concentraciones: a) en equilibrio, $n_{no}\, y\, p_{no}$; b) en desequilibrio $n_n\, y\, p_n$, diciendo al mismo tiempo si se trata de régimen de baja o de alta inyección, en los casos en que existe una inyección de exceso de portadores
i) $n'_n = p'_n = 10^{13} cm^{-3}$ y ii) $n'_n = p'_n = 10^{16} cm^{-3}$.
Datos $n_i = 1,5 \times 10^{10} cm^{-3}$; $n'_n = n_n - n_{no}$;
$n'_n = n_n - n_{no}$; $p'_n = p_n - p_{no}$

Resp 4

a) Si el semiconductor es de tipo n, antes de la iluminación se tendrá:

$$n_{no} \cong N_d = 2,25 \times 10^{15} cm^{-3} \quad ; \quad p_{no} \cong \frac{n_i^2}{N_d} = 10^5 cm^{-3}$$

b) Si existe una inyección en exceso de portadores, tendremos:

$$n_n = n_{no} + n'_n \quad ; \quad p_n = p_{no} + p'_n$$

y para cada una de las situaciones:

$$i) n_n = 2,25 \times 10^{15} + 10^{13} = 2,26 \times 10^{15} cm^{-3}$$

$$p_n = 10^5 + 10^{13} \simeq 10^{13} cm^{-3}$$

$$ii) n_n = 2,25 \times 10^{15} + 10^{16} = 2,225 \times 10^{15} cm^{-3}$$

$$p_n = 10^5 + 10^{16} \simeq 10^{16} cm^{-3}$$

Para ver si el régimen es de baja o alta inyección tenemos:

$$p'_n = p_n - p_{no} = 10^{13} cm^{-3} << 10^{16} cm^{-3} =$$

$$= n_n \Rightarrow \text{ baja inyección}$$

$$p'_n = p_n - p_{no} = 10^{16} cm^{-3} \simeq 1,225 \times 10^{16} cm^{-3} =$$

$$= n_n \Rightarrow \text{ alta inyección}$$

Enunciado 5

Considérese un semiconductor tipo n. Si la variación de recombinación de huecos es $U_p = 10^{18} cm^{-3} s^{-1}$ y la concentración de portadores en exceso es $p'_n = 10^{13} cm^{-3}$, ¿cual será la vida media de los potadores minoritarios ?

Respuesta del ejemplo 5

La variación temporal de la concentración de huecos por recombinación en un semiconductor tipo n viene dada por :

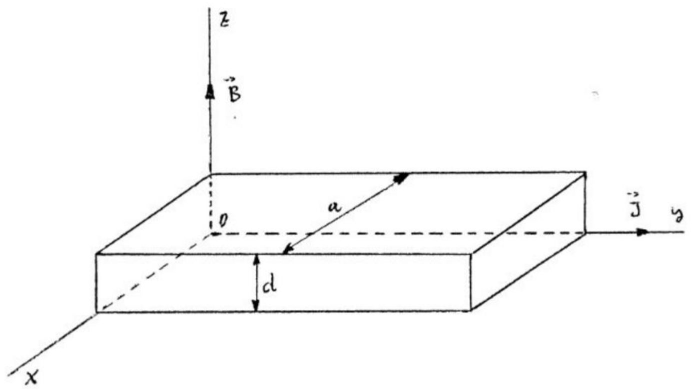
$$\frac{dp}{dt} = -U_p = -\frac{p_n - p_{no}}{\tau_p}$$

Por lo tanto podemos escribir:

$$\tau_p = \frac{p_n - p_{no}}{U_p} = \frac{p'_n}{U_p} = \frac{10^{13} cm^{-3}}{10^{18} cm^{-3} s^{-1}} = 10^{-5} s = 10 \mu s$$

6

En un experimento del efecto Hall las medidas efectuadas sobre una muestra de Si fueron:
$l = 1,0\, cm, d = 0,1\, cm, a = 0,2\, cm, I = 5mA, B = 1Wb/m^2$, $V = 0,245\, V$(en la dirección de I) $V_H = 2,0\, mV$. Si el coeficiente de Hall es $r_H = 1,18$, determinar:
a) El tipo de semiconductor que es la muestra, b) La concentración de portadores mayoritarios, c) La movilidad de Hall, μ_p(Hall), d) la movilidad de conducción, μ_p (conducción), e) la contante de difusión, D_p



Resp

a) La tensión de Hall, V_H , es positiva, por lo tanto, la muestra es un semiconductor tipo p.

b) Para obener la concentración de mayoritarios sabemos que la constante de Hall vale:

$$R_H = \frac{r_H}{q \cdot p} = \frac{\xi_H}{J \cdot B} = \frac{a \cdot d \cdot \xi_H}{a \cdot d \cdot J \cdot B} = \frac{d \cdot V_H}{I \cdot B}$$

Y a partir de ahí tenemos:

$$p = \frac{r_H}{q \cdot V_H \cdot d} \times I \cdot B = \frac{1,18 \times 5 \cdot 10^{-3} A \times 1 Wb \cdot m^{-2}}{10^{-3} m \times 1,609 \cdot 10^{-19} C \times 2 \cdot 10^{-3} V} =$$

$$= 1,833 \times 10^{16} cm^{-3}$$

c) La movilidad de Hall se obtiene por:

$$\mu_p(Hall) = \frac{r_H \cdot \sigma}{q \cdot p} = |r_H| \sigma = \frac{l \cdot V_H}{a \cdot J \cdot B} = 408 cm^2 V^{-1} s^{-1}$$

d) Para la movilidad de conducción tenemos:

$$\frac{\mu_p(Hall)}{\mu_p(conducción)} = r_H \Rightarrow \mu_p(conducción) =$$

$$= \frac{408}{1,18} = 350 cm^2 V^{-1} s^{-1}$$

e) Finalmente para la constante de difusión tendremos:

$$D_p = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \mu_p(conducción) = 9,1 cm^2 s^{-1}$$