Física del Estado Sólido

Guía 7 – 2 de junio de 2023

Problema 1. Se desea encontrar la densidad de estados a partir de la definición

$$g(\varepsilon) = \int \frac{\mathrm{d}^3 k}{4\,\pi^3}\, \delta\big(\varepsilon - \varepsilon(\boldsymbol{k})\big)$$

aproximando cuadráticamente las relaciones de dispersión en torno a los extremos de la banda de conducción y valencia

$$\varepsilon(\boldsymbol{k}) = \varepsilon_{c,v} \pm \frac{\hbar^2}{2}\, \boldsymbol{k}^T\, \mathbf{M}^{-1}\, \boldsymbol{k}\ ,$$

donde $\mathbf{M}$ es el tensor de masa efectiva. Realizando los cambios de variables pertinentes, muestre que la densidad de estados resulta

$$g_{c,v}(\varepsilon) = \sqrt{2\big|\varepsilon - \varepsilon_{c,v}\big|}\ \frac{m_{c,v}^{3/2}}{\hbar^3\,\pi^2}\ .$$

¿Qué relación tienen $m_{c,v}$ con los respectivos tensores de masa efectiva? ¿Qué pasa cuando hay varios mínimos en la estructura de la banda de conducción? Explique por qué hay huecos *pesados* y *livianos*.

Problema 2. Calcule las concentraciones de portadores n_i y el potencial químico μ en los semiconductores intrínsecos Si, Ge, y ZnO a 300 K, utilizando las masas efectivas de las bandas de conducción y de valencia y el gap semiconductor.

Problema 3. El número de pares electrón-hueco en un semiconductor intrínseco de germanio (Ge) está dado por $n_i = 9{,}7\times 10^{15}\, T^{3/2}\, e^{-\varepsilon_g/(2k_BT)}\ \mathrm{cm}^{-3}$, donde $\varepsilon_g = 0{,}72$ eV.

a) ¿Cuál es la densidad de pares a $T = 20°$C?

b) ¿El germanio a 200°C será un buen conductor? ¿Por qué?

Problema 4. a) ¿Cómo espera que varíe la conductividad de un semiconductor intrínseco al incrementarse la temperatura? Explique su respuesta.

b) ¿Cómo espera que varíe la conductividad en un conductor metálico al incrementarse la temperatura?

Problema 5. Calcule la movilidad de los electrones en Si utilizando un montaje tipo Hall. Suponga que se tiene una lámina de espesor D, ancho L_y y largo L_x y exprese la movilidad en términos del voltaje Hall V_y, el campo B, el voltaje V_x aplicado, L_y y L_x . Estime la movilidad Hall si se tienen los datos $B = 500\,\mathrm{G}$, $V_x = 8\,\mathrm{V}$, $V_y = 4\,\mathrm{mV}$, $L_x = 3\,\mathrm{mm}$, $L_y = 1\,\mathrm{mm}$. Con esta movilidad calcule la velocidad de los electrones en un campo eléctrico de $8\,\mathrm{V/mm}$. ¿A qué valor del cuasi-momento, respecto del mínimo de banda, corresponde esta velocidad para los electrones en la banda de conducción del Si?

Problema 6. En un semiconductor con impurezas (semiconductor extrínseco) los portadores de la banda de conducción n_c y los de la banda de valencia p_v no son iguales: $n_c - p_v = \Delta n \neq 0$. Encuentre la desviación relativa de portadores $\Delta n/n_i$ en función del potencial químico intrínseco μ_i y el potencial químico μ.

Problema 7. Considere una impureza dadora (un átomo con un electrón extra, respecto de los átomos del semiconductor) en un semiconductor intrínseco. El electrón extra puede considerarse como uno libre en el semiconductor, y el núcleo representa una carga positiva $+e$ dentro del semiconductor.

a) Resuelva el problema del electrón en presencia de la carga coulombiana dentro del semiconductor utilizando la aproximación de masa efectiva para la banda de conducción. Lo que nos interesa es la energía del estado fundamental y el radio de dicho estado.

b) Para el germanio dopado con fósforo, calcule el radio de la impureza y el valor de la energía de ligadura. Compare el radio con la distancia entre átomos de germanio y la energía con el gap del semiconductor intrínseco.

c) Considere la misma situación con una impureza aceptora.

Problema 8. Calcule la población de los niveles de impurezas (dadoras y aceptoras) en equilibrio térmico.