Estructura de la Materia 2

Primer Cuatrimestre 2012

Guía 6: Semiconductores

1. **Semiconductor intrínseco**
Considere un semiconductor con bandas de valencia (v) y de conducción (c) de forma parabólica general, en un entorno de los respectivos puntos extremos, masas efectivas m_v, m_c y energías E_v, E_c.

   a) Exprese y grafique las densidades de estados por unidad de volumen.

   b) Exprese y grafique las funciones de Fermi de electrones y huecos superpuestas sobre el gráfico anterior. Suponga $\mu = \frac{E_c+E_v}{2}$ y úselo como cero de energía.

   c) Exprese la concentración de electrones en la banda de conducción n_c, de huecos en la banda de valencia p_v.

   d) Suponga satisfecha la condición de no degeneración $\frac{|\mu - E_{c,v}|}{k_B T} \gg 1$ en escala de $k_B T$ y que el potencial químico μ está en el interior del gap ($E_g = E_c - E_v$), lejos de los extremos de las bandas.

      1) Calcule y grafique $\mu(T) = \mu_i(T)$ (i por intrínseco). Use masas típicas para Ge: $m_v = 0{,}37m$, $m_c = 0{,}56m$.

      2) Estime el valor de E_g a partir del cual se viola la condición anterior a temperatura ambiente. ($E_g(Ge) = 0{,}67eV$)

   e) Calcule $n_c(T)$ y $p_v(T)$.

2. **Masas efectivas de huecos y electrones**
Para semiconductores con gaps de $1eV$ y $0{,}1eV$:

   a) ¿En cuánto deben diferir las masas efectivas de electrones y huecos para que el potencial químico μ se ubique a una energía KT_a ($T_a = 300K$) por debajo de la banda de conducción?

   b) Grafique la densidad de estados para electrones y huecos en ambos casos.

3.

   a) Argumente, por comparación con átomo hidrogenoide, para demostrar que el radio aproximado de la órbita de un electrón ligado a una impureza donora es $r = \frac{\epsilon a_0 m}{m^*}$ y que su energía es $E_d = E_c - \frac{m^*}{m\epsilon^2}\text{Ry}$. Compare $E_c - E_d$ con E_g para casos típicos ($a_0 = \frac{\hbar^2}{me^2} \approx 0{,}53$Å es el radio de Bohr, ϵ es la constante dieléctrica, $1\text{Ry} = \frac{me^4}{2\hbar^2} \approx 13{,}6$eV es la energía del nivel fundamental del átomo de hidrógeno.

   b) Halle la expresión de la concentración de electrones en el nivel donor n_d, para un semiconductor fabricado con uno intrínseco agregando una concentración de impurezas donoras N_d.

   c) Exprese el balance de carga en este caso.

   d) La condición de no degeneración ahora es $\frac{|\mu - E_d|}{kT} \gg 1$. Utilícela para calcular $\mu(T)$ y compare con $\mu_i(T)$ del ejercicio 1 para $N_d = 10^{12}m^{-3}$. Note la existencia de una región de temperatura dominada por el comportamiento intrínseco y otra dominada por el comportamiento extrínseco. Estime el rango de temperatura en el cual vale la condición de no degeneración.

e) Obtenga $n_c(T)$ y $p_v(T)$ y compare con $n_i(T)$ del ejercicio 1.
Ayuda: Para a), la energía del nivel n de un átomo hidrogenoide de carga Ze es

$$E_n = \frac{-mZ^2e^4}{2\hbar^2n^2}$$

y el radio de la órbita

$$r_n = \frac{\hbar^2n^2}{mZe^2}$$

Por otro lado, en un medio de constante dieléctrica ϵ, la carga nuclear se apantalla según $Ze \to Ze/\epsilon$.

4. **Orbitas de impurezas**
El InSb tiene un gap $E_g = 0{,}23\text{eV}$, una constante dieléctrica $\epsilon = 18$ y una masa efectiva $m_c^* = 0{,}015m$. Calcular

   a) La energía de ionización del donor.

   b) El radio típico del estado fundamental.

   c) La concentración de donores a la que comenzarán a superponerse los orbitales correspondientes a átomos de impurezas adyacentes.

5. **Ionización de donores**
En un dado semiconductor hay 10^{13}donores$/cm^3$, con una energía de ionización $E_d = 1\text{meV}$ y una masa efectiva $m_c^* = 0{,}01m$.

   a) Estimar la concentración n de electrones de conducción a $T = 4K$.

   b) Calcular el coeficiente Hall. Suponer que no hay impurezas aceptoras presentes y que $E_d \gg kT$. Recordar que la constante de Hall es $R_H = -1/nec$