

Estructura de la Materia 2
Segundo cuatrimestre 2018
Guía 8: Semiconductores

1. Semiconductor intrínseco 3D

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 .

- i) Exprese y grafique las densidades de estados por unidad de volumen.
- ii) Exprese y grafique las funciones de Fermi de electrones y huecos superpuestas sobre el gráfico anterior. Suponga $\mu(T=0) = \frac{\epsilon_c + \epsilon_v}{2}$ y úselo como cero de energía.
- iii) Exprese la concentración de electrones en la banda de conducción n_c , de huecos en la banda de valencia p_v .
- iv) Suponga satisfecha la condición de no degeneración $\frac{|\mu - E_{c,v}|}{kT} \gg 1$ en escala de kT , μ está en el interior del gap ($\epsilon_g = \epsilon_c - \epsilon_v$) lejos de los extremos de las bandas. Calcule y grafique $\mu(T) = \mu_i(T)$ (i por intrínseco). Use masas típicas para Ge: $m_v = 0,37m$, $m_c = 0,56m$. Estime el valor de ϵ_g a partir del cual se viola la condición anterior a temperatura ambiente. ($\epsilon_g(Ge) = 0,67$ eV)
- v) Calcule $n_c(T)$ y $p_v(T)$.

2. Masas efectivas de huecos y electrones.

Suponga semiconductores con gaps de 1 eV y 0.1 eV.

- i) ¿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?
- ii) Grafique la densidad de estados para electrones y huecos en ambos casos.

3. Semiconductor intrínseco 2D.

Se quiere modelar el comportamiento de un semiconductor bidimensional no dopado. Para ello se suponen bandas de valencia y de conducción de forma parabólica en un entorno de sus respectivos extremos coincidentes (gap directo), masas efectivas m_v^* y m_c^* , y aplicable la condición de no degeneración.

- i) Calcule y grafique las densidades de estados por unidad de superficie para cada banda.
- ii) Escriba la ecuación de balance de carga y calcule explícitamente las densidades de portadores.
- iii) Utilice la ecuación de electroneutralidad para hallar el potencial químico en función de la temperatura. Grafique su valor a $T=0K$ en el gráfico que realizó en el primer inciso.

4. **i)** Mediante una comparación con un átomo hidrogenoide, argumente por qué el radio aproximado de la órbita de un electrón ligado a una impureza donora es $r = \frac{\epsilon a_0 m}{m^*}$ y su energía $\epsilon_d = \epsilon_c - \frac{m^*}{m\epsilon^2} \text{ Ry}$. Compare $\epsilon_c - \epsilon_d$ con ϵ_g para casos típicos.
- $a_0 = \frac{\hbar^2}{m e^2} \approx 0,53 \text{ \AA}$ es el radio de Bohr, ϵ es la constante dieléctrica del medio y $1\text{Ry} = \frac{m e^4}{2\hbar^2} \approx 13,6\text{eV}$ es la energía del nivel fundamental del átomo de hidrógeno
- ii)** Halle la expresión que tiene la concentración de electrones en el nivel donador n_d para un semiconductor fabricado con uno intrínseco al que se le agrega una concentración de impurezas donoras N_d .
- iii)** Exprese el balance de carga en este caso.
- iv)** La condición de no degeneración ahora es $\frac{|\mu - \epsilon_d|}{kT} \gg 1$. 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.
- v)** Obtenga $n_c(T)$ y $p_v(T)$ y compare con $n_i(T)$ del ejercicio 1.
- vi)** Calcule las expresiones pedidas en los ítems ii-v si ahora el semiconductor extrínseco se obtiene añadiendo una concentración N_a de impurezas aceptoras al semiconductor intrínseco.
- Ayuda:** Para i) la energía del nivel enésimo de energía de un átomo hidrogenoide de carga Ze es $E_n = \frac{-mZ^2 e^4}{2\hbar^2 n^2}$ y el radio de la órbita $r_n = \frac{\hbar^2 n^2}{mZe^2}$. Por otro lado en un medio de constante dieléctrica ϵ la carga nuclear se apantalla según $Ze \rightarrow Ze/\epsilon$.
5. Órbitas de impurezas: el InSb tiene un gap $\epsilon_g = 0,23\text{eV}$, una constante dieléctrica $\epsilon = 18$ y una masa efectiva $m_c^* = 0,015m$. Calcular
- i)** La energía de ionización del donador.
- ii)** El radio típico del estado fundamental.
- iii)** La concentración de donores a la que comenzarán a superponerse los orbitales correspondientes a átomos de impurezas adyacentes.
6. Ionización de donores: en un dado semiconductor hay 10^{13} donores/ cm^3 , con una energía de ionización $I_d = 1\text{meV}$ y una masa efectiva $m_c^* = 0,01m$.
- i)** Estimar la concentración n_c de electrones de conducción y el potencial químico a $T=4 \text{ K}$.
- ii)** Calcular el coeficiente Hall. Suponer que no hay impurezas aceptoras presentes y que $\epsilon_d \gg kT$. Recordar que $R_H = -1/nec$ (CGS) (aunque esta ecuación no es válida si se tienen dos tipos de portadores).