

Estructura de la Materia 2
Curso de Verano 2016
Guía 7: 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 .

- 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 $\mu = \frac{E_c + E_v}{2}$ 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 ($E_g = E_c - E_v$) 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 E_g a partir del cual se viola la condición anterior a temperatura ambiente. ($E_g(\text{Ge}) = 0,67 \text{ eV}$)
- v) Calcule $n_c(T)$ y $p_v(T)$.

2. Masas efectivas de huecos y electrones.

Para 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. i) 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 ($a_0 = \frac{\hbar^2}{m\epsilon^2} \approx 0,53 \text{ \AA}$ es el radio de Bohr, ϵ es la constante dieléctrica, $1\text{Ry} = \frac{m\epsilon^4}{2\hbar^2} \approx 13,6\text{eV}$ es la energía del nivel fundamental del átomo de hidrógeno)
- ii) Halle la expresión de la concentración de electrones en el nivel donor n_d , para un semiconductor fabricado con uno intrínseco agregando un a concentración de impurezas donoras N_d .
 - iii) Exprese el balance de carga en este caso.
 - iv) La condición de no degeneración ahora es $\frac{|\mu - E_d|}{kT} \gg 1$.
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.

- v) Obtenga $n_c(T)$ y $p_v(T)$ y compare con $n_i(T)$ del ejercicio 1.
- Ayuda:** Para i) 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 $Ze \rightarrow Ze/\epsilon$.
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
- La energía de ionización del donador.
 - El radio típico del estado fundamental.
 - La concentración de donadores a la que comenzarán a superponerse los orbitales correspondientes a átomos de impurezas adyacentes.
5. Ionización de donadores: en un dado semiconductor hay 10^{13} donadores/ cm^3 , con una energía de ionización $E_d = 1\text{meV}$ y una masa efectiva $m_c^* = 0,01m$.
- Estimar la concentración n de electrones de conducción a $T=4$ K.
 - Calcular el coeficiente Hall. Suponer que no hay impurezas aceptoras presentes y que $E_d \gg kT$. Recordar que $R_H = -1/nec$