

**Estructura de la Materia 2**  
**Curso de Verano 2014**  
**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  $E_v$ ,  $E_c$ .

- 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  $kT$ ,  $\mu$  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  $\mu$  se ubique a una energía  $KT_a$  ( $T_a = 300\text{K}$ ) 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,  $\epsilon$  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 donador  $n_d$ , 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  $\epsilon$  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/ $\text{cm}^3$ , 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  $R_H = -1/nec$