

1-Explique como se chega à noção de “electrões quentes” num semiconductor.

2-Diga em que consiste o efeito de Gunn nos semicondutores?

3-A mobilidade dos electrões numa amostra de Si é de  $1200 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  e a das lacunas é  $600 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Aplica-se um campo eléctrico  $\mathbf{E}$  na direcção  $\mathbf{OX}$  e um campo magnético  $\mathbf{B}$  na direcção  $\mathbf{OY}$  (ambos uniformes).

a)Partindo da definição de mobilidade escreva a expressão da grandeza da força de Lorentz a que fica sujeito cada tipo de transportadores.

b)Calcular a relação das concentrações de electrões e lacunas, quando não se observa corrente na direcção  $\mathbf{OZ}$ .

4-Uma amostra de Si é dopada com As, sendo  $10^{23} \text{ m}^{-3}$  a concentração de impurezas dadoras. A amostra está à temperatura ambiente.  $\Delta E = 1.12 \text{ eV}$ ,  $m_e^* = m_h^* = 9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$ ,  $K_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ ,  $h/2\pi = 1.034 \times 10^{-34} \text{ J s}$ ,  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

a)Calcular a concentração intrínseca de electrões e compará-la com a concentração de electrões fornecidos pelas impurezas dadoras.

b)Supondo que todas as impurezas estão ionizadas, determinar a posição do nível de Fermi na amostra.

c)Discutir o efeito da adição de impurezas aceitadoras com concentração  $6 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$  na posição do nível de Fermi.

5-Distinga entre um semiconductor intrínseco de um semiconductor extrínseco. Pode-se afirmar que um semiconductor intrínseco não contém impurezas? Justifique.

b)Comente a afirmação: “a altas temperaturas todos os semicondutores são intrínsecos”.

c)Distinga entre semiconductor de *gap* directo e semiconductor de *gap* indirecto.

6-Numa amostra de Si a mobilidade dos electrões é dupla da das lacunas e  $p=4n$ . Aplica-se a esta amostra um campo eléctrico  $\mathbf{E}$  segundo o eixo dos  $\mathbf{XX}$  e um campo magnético  $\mathbf{B}$  segundo o eixo dos  $\mathbf{YY}$ . Mede-se, nestas condições, a corrente na direcção do eixo dos  $\mathbf{ZZ}$ . Qual é o valor esperado?

7-Esboce o gráfico da variação da densidade de corrente  $\mathbf{J}$  com o campo eléctrico  $\mathbf{E}$ , para um semiconductor que apresente condutividade diferencial negativa.

b) Explique o mecanismo físico responsável pelo aparecimento de condutividade diferencial negativa.

8-Escrever a expressão da condutividade eléctrica de um semiconductor com electrões e lacunas.

a) Supondo iguais as mobilidades de ambos os tipos de transportadores, verificar em que condição é mínima a condutividade.

b) Calcular a variação da resistividade de uma amostra de Ge à temperatura de 300 °K, dopada com  $4 \times 10^{23}$  átomos de P por metro cúbico.

9-O gráfico da Fig. 1 representa a condutividade  $\sigma$ , de um semiconductor em função da temperatura T. Identifique neste gráfico zonas correspondentes a comportamentos típicos de semicondutores (intrínsecos e extrínsecos) e apresente uma justificação para a variação de  $\sigma$  com T.

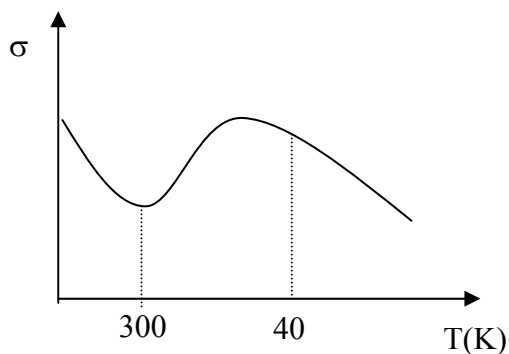


Fig. 1

10-Representar a estrutura de bandas típica de um semiconductor do tipo n e de outro do tipo p. Explicar a a variação de  $n(T)$  representada na Fig.2 para um semiconductor do tipo n.

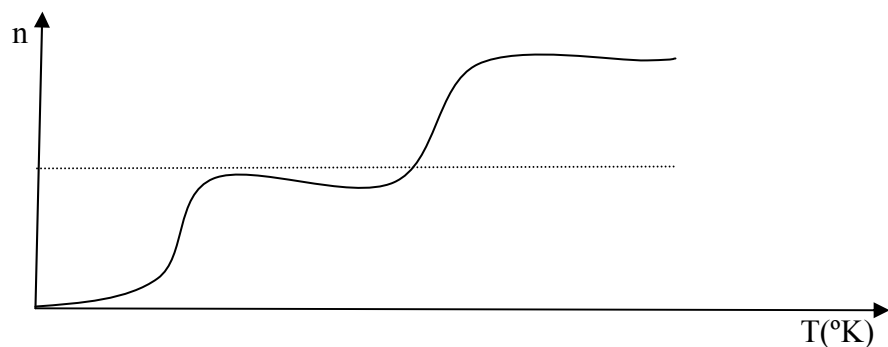


Fig. 2

11-Uma amostra de Ge é dopada com Al(sp<sup>3</sup>) sendo a concentração do dopante 10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>. Calcular a variação esperada para o coeficiente de Hall da amostra entre a temperatura ambiente (300 °K) e a temperatura de 500°K.

Para o Ge:

$$m_e^* = 0.6 m_0, m_h^* = 0.3 m_0, \mu_e = 4500 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, \mu_h = 3500 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, \Delta E = 0.67 \text{ eV},$$
$$R_H = (p \mu_h^2 - n \mu_e^2) / e(n \mu_e + p \mu_h)^2$$

12-Um wafer de silício (5x10<sup>22</sup> átomos cm<sup>-3</sup>) contém 10<sup>-4</sup> % de arsénico (As, grupo V) como impureza. Depois recebe um doping uniforme de 3x10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup> de átomos de fósforo (P, grupo V) e um doping uniforme de 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> átomos de Boro (grupo III). Um tratamento térmico activa as impurezas.

a)Qual o tipo de condutividade deste wafer (n ou p)?Justifique.