

#### 4- ~~Extrinsic~~ carrier density

التركيز الذاتي  $n_i$  (أو كثافة الحالات الذاتية) معطى بالمعادلة (11)  
 بدلالة  $N_v$  و  $N_c$  والمعادلة (12) بدلالة  $m_h^*$  و  $m_e^*$ .  
 وعندما تكون كثافة الثقوب  $(p)$  وكثافة الإلكترونات  $(n)$  مساوية إلى  
 كثافة الحالات الذاتية  $(n_i)$  عليه فبمعادلة (4) ومعادلة (7) فإن  
 مستوى فيرمي يساوي مستوى فيرمي الذاتي  $E_{fi} = E_f$  أي أن:  

$$n = n_i = N_c \exp \left[ -\frac{E_c - E_{fi}}{kT} \right] \quad \text{--- (16)}$$

$$p = n_i = N_v \exp \left[ -\frac{E_{fi} - E_v}{kT} \right] \quad \text{--- (17)}$$
 الآن بم حذف  $N_c$  بين (4) و (16) و  $N_v$  بين (7) و (17) فنحصل  
 على معادلات تربط كثافة الإلكترونات  $(n)$  والثقوب  $(p)$  بكثافة الحالات  
 الذاتية  $(n_i)$ :

$$n = n_i \exp \left[ \frac{E_f - E_{fi}}{kT} \right] \quad \text{--- (18)}$$

$$p = n_i \exp \left[ \frac{E_{fi} - E_f}{kT} \right] \quad \text{--- (19)}$$

هذه المعادلات صحيحة (18 و 19) صحيحة حتى في حالة شبه الموصل - الخواص - الخواص  
 على شوائب أو شبه الموصل المعزى لا شعاع ضوئي (أشعة ضوئية  
 optical excitation) حيث تتولد أزواج (إلكترون - ثقب) إضافية ناتجة من  
 انشطار الفوتونات (الطاقة الضوئية) وعليه ففي هذه الأحوال فإن  
 كثافة الإلكترونات  $(n)$  والثقوب  $(p)$  تكون مختلفة عن قيمه  $(n_i)$ .

#### 5- Intrinsic conductivity التوصيلية الذاتية

صياك ما هتبان لتوصيلية شبه الموصل الذاتي هما الأول، الإلكترونات  
 في حزمة التوصيل، والثاني، الفجوات (الثقوب) في حزمة التكافؤ:

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_h = en\mu_n + ep\mu_p = en_i(\mu_n + \mu_p)$$

$\mu_n, \mu_p$  مثل حركية الثقوب والإلكترونات على التوالي. عادة  $\mu_n > \mu_p$   
 لأن متوسط المسار الحر (متوسط المسافة بين اصطدامين أو تصادمين) للثقوب  
 في حزمة التكافؤ أصغر من متوسط المسار الحر للإلكترونات في حزمة التوصيل.  
 • ~~مبدأ~~ المقاومة  $(R)$  ثقل التوصيلية، عليه فإن مقاومة شبه الموصل الذاتي:  

$$R_i = \frac{1}{\sigma_i} = \frac{1}{en_i(\mu_n + \mu_p)}$$

### Example :

34 مثال 2 (18)

The resistivity of an intrinsic semiconductor is  $10 \Omega \cdot m$  at  $20^\circ C$  and  $2.0 \Omega$  at  $40^\circ C$ ,

(a) What is its energy gap?

(b) at what temperature will the resistivity;

(i) be  $1 \Omega \cdot m$ , (ii)  $2.0 \Omega \cdot m$ .

Solution

الحل :

$$20^\circ C = 20 + 273 = 293 K, \quad 40^\circ C = 40 + 273 = 313 K$$

المقارنة من تعطين بالعلاقة التالية:

$$\rho = \frac{1}{en_i(\mu_n + \mu_p)} = \frac{1}{e(\mu_n + \mu_p) \sqrt{N_c N_v} \exp(-E_g/2KT)}$$

$$= [1/e(\mu_n + \mu_p) \sqrt{N_c N_v}] \exp\left(\frac{E_g}{2KT}\right) = \rho_0 \exp\left(\frac{E_g}{2KT}\right)$$

وعند فرض اهمال تغيرات  $\mu_n$ ,  $\mu_p$ ,  $N_c$ ,  $N_v$  مع درجة الحرارة في المثل  $20^\circ C$  ولغاية  $40^\circ C$  مقارنة بالتغير الناتج من العامل الا سى  $\exp(E_g/2KT)$  - عليه في هذه الحالة يمكن اعتبار (  $\rho_0$  ) بمثابة ثابت constant لا يعتمد على درجة الحرارة . وبتطبيق المعادلة اعلاه عند الدرجتين الحراريتين  $T_1$  و  $T_2$  نحصل على :

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\exp(E_g/2KT_2)}{\exp(E_g/2KT_1)} = \exp\left[\frac{E_g}{2KT_2} - \frac{E_g}{2KT_1}\right]$$

وباعادة الصياغة للحصول على  $E_g$ :

$$E_g = \frac{2k}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} \ln\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

$$\therefore E_g = \frac{2 \times 8.62 \times 10^{-5}}{\frac{1}{293} - \frac{1}{313}} \ln\left(\frac{10}{2}\right) = 1.27 \text{ eV}$$

(b) Rewriting the equation above as : باعادة كتابة المعادلة :

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{T_1} + \frac{2K}{E_g} \ln\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

وبمعرفه  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  و  $T_1$  يمكن ايجاد  $T_2$  لكل حالة .

$$T_2 = 316 K = 316 - 273 = 43^\circ C \text{ when } \rho = 1 \Omega \cdot m$$

### Example 5:

مادة سيليكون فاصلة طاقة  $E_g = 1.1 \text{ eV}$   
 افترض انه  $m_p^* = 6 m_e^*$  وانه  $m_e^* = 0.8 m_e$  حيث  $m_e$  كتلة  
 الإلكترون الحر ، اوجد موقع مستوى طاقة نيتروجين لمادة نقيية عند درجة  
 حرارة  $T = 300 \text{ K}$  وعند  $T = 8 \text{ K}$ .

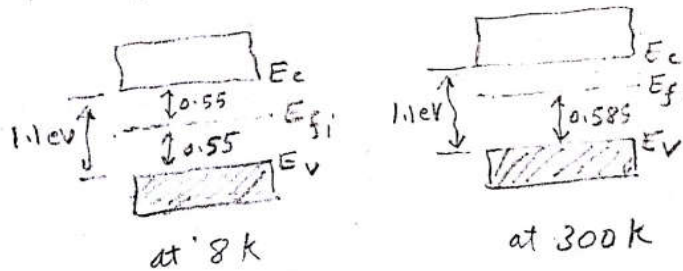
Solution:

$$E_{fi} = \frac{1}{2} E_g + \frac{3}{4} k_B T \ln \left( \frac{n_p^*}{n_e^*} \right)$$

$$\begin{aligned} E_{fi}(300 \text{ K}) &= \frac{1}{2} (1.1) + \frac{3}{4} \times 8.62 \times 10^{-5} \times 300 \ln \frac{6 m_e^*}{0.8 m_e^*} \\ &= 0.55 + 1.939 \times 10^{-2} \ln(6) \\ &\approx 0.55 + 0.035 = 0.585 \text{ eV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{fi}(8 \text{ K}) &= \frac{1}{2} (1.1) + \frac{3}{4} \times 8.62 \times 10^{-5} \times 8 \ln(6) \\ &\approx 0.55 + 5.17 \times 10^{-4} \ln(6) \approx 0.55 + 9.26 \times 10^{-4} \\ &\approx 0.55 + 0.000926 \approx 0.55 \text{ eV} \end{aligned}$$

لاحظ كيف يتأثر موقع مستوى فيرمي  $E_{fi}$  بدرجة الحرارة  
 حيث  $E_{fi}$  يقترب من قعر حزمة التوصيل  $E_c$  عند ازدياد درجة الحرارة.



### Example 3

(سؤال 8 - التكميلي - صفحة 240) **35 مثال 3** (20)

مادة سليكون فاصلة طاقة تاريه 1.1 eV - افرض ان  $m_h^* = 6m_e^*$  و ان  $m_e^* = 0.8m_0$  حيث  $m_0$  كتلة الالكترون الحر. (2) اؤم بر موقع مستوى فيرمي لمادة نسيية (ذاتية) عند درجة حرارة  $T = 300K$  و  $T = 8K$ .  
(ب) اؤم بر كثافة الالكترونات عند نفس قيم درجات الحرارة

Solution

الحل

$$E_{fi} = \frac{1}{2}E_g + \frac{3}{4}KT \ln(m_h^*/m_e^*)$$

$$E_{fi}(300K) = \frac{1}{2}(1.1) + \left(\frac{3}{4}\right) \times 8.62 \times 10^{-5} \times 300 \ln(6m_e^*/m_e^*)$$
$$= 0.55 + 0.035 = 0.585 \text{ eV}$$

$$E_{fi}(8K) = \frac{1}{2}(1.1) + \left(\frac{3}{4}\right) \times 8.62 \times 10^{-5} \times 8 \ln(6) \approx 0.55 \text{ eV}$$

لاحظ كيف يتأثر موقع  $E_{fi}$  بدرجة الحرارة ( $E_{fi}$  يقترب من  $E_c$  عند ارتفاع  $T$ )

$$(b): n/N_c \exp\left[-\frac{E_c - E_{fi}}{KT}\right]$$

$$N_c = 2(2\pi m_e^* KT/h^2)^{3/2}$$

$$N_c(300K) = 2[2\pi \times 0.8 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 8.38 \times 10^{-23} \times 300 / 6.625 \times 10^{-34}]^{3/2}$$
$$\approx 3.5 \times 10^{21} T^{3/2} = 1.79 \times 10^{25} \text{ m}^{-3} = 1.79 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$n(300) = 1.79 \times 10^{19} \exp\left[-\frac{1.1 - 0.585}{8.62 \times 10^{-5} \times 300}\right] = 4.0 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_c(8K) \approx 3.5 \times 10^{21} T^{3/2} = 7.92 \times 10^{22} \text{ m}^{-3} = 7.92 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$n(8K) = 7.92 \times 10^{16} \exp\left[-\frac{1.1 - 0.55}{8.62 \times 10^{-5} \times 8}\right] \approx 0$$

لاحظ اعتماد كثافة الالكترونات ( $n$ ) على درجة الحرارة، حيث يزداد

$n$  با ارتفاع درجة الحرارة. معدل يعتمد على النسبة  $\left(\frac{E_g - E_{fi}}{KT}\right)$