سلم تصحيح مقرر انصاف النواقل لطلاب السنة الرابعة– قسم الفيزياء

الدورة الفصلية الثانية 2024–2025

السؤال الأول: (20 درجة، لكل نوع درجتان، 16 درجة توزع بالتساوي على شرح النوع)

–أنصاف النواقل البلورية (Crystalline Semiconductor): تكون ذراتها مرتبة بشكل منتظم في الشبكة البلورية أي تكون ذراتها مرتبة بشكل دوري مكونة تشكيلاً ثلاثي الأبعاد يسمى بالترتيب طويل المدى (Long- range order) ولهذا فهي تمتلك نوعاً من التماثل. بالمقابل هناك نوعان من التبلور: أحادي التبلور(Single crystal)، وتمتد فيه دورية النموذج البلوري بكل أجزاء البلورة، ومتعدد التبلور(poly crystalline) وفيه تنتهي دورية البلورة عند حدود تسمى بحدود الحبيبات (Grain Boundaries).

–أنصاف النواقل العشوائية أو الأمورفية (Amorphous Semiconductor): ويمتاز تركيبها البلوري بأنه قصير المدى (Short- range order) إذ أن ذراتها مرتبة بشكل عشوائي مكونة تشكيلة معقدة، وتفقد ذراتها الترتيب على بعد مسافة أكبر من اثنين أو ثلاثة أنصاف أقطار ذرية.

السؤال الثاني: (20 درجة)

بما أن تركيز الإلكترونات والثقوب واحد في هذه الحالة، فإننا سنحصل بمساواة التركيزين على:

$$N_V \exp\left[\frac{-(E_{Fi}-E_V)}{KT}\right] = N_C \exp\left[\frac{-(E_c-E_{Fi})}{KT}\right]$$ (ثلاث درجات)

إذا أخذنا اللوغارتم الطبيعي لكلا الطرفين، يمكننا ايجاد E_{Fi} :

$$E_{Fi} = \frac{1}{2}(E_C+E_V)+\frac{1}{2}KT\ln\frac{N_V}{N_C}$$ (ثلاث درجات)

بالتعويض عن N_C وN_V بعبارتيهما نجد:

$$E_{Fi} = \frac{1}{2}(E_C+E_V)+\frac{3}{4}KT\ln\frac{m_p}{m_n}$$ (ثلاث درجات)

الحد الأول $\frac{1}{2}(E_C+E_V)$ هو الطاقة عند المنتصف تماماً ونرمز لها بالرمز: E_m وإذا كانت الكتلة المجدية للإلكترون مساوية للكتلة المجدية للثقب فعندها يكون مستوي فيرمي الأصيل في مركز القطاع المحظور. إذا كانت $m_p > m_n$ يكون مستوى فيرمي فوق المركز قليلاً، وإذا كانت $m_p < m_n$ يكون مستوي فيرمي تحت المركز بقليل. (ثلاث درجات)

$$E_{Fi} = \frac{1}{2}(E_C+E_V)+\frac{3}{4}KT\ln\frac{m_p}{m_n}$$

$$E_{Fi} = \frac{1}{2}(E_m)+\frac{3}{4}(0.0259)\ln\frac{0.56}{1.08}$$ (أربع درجات)

$$E_{Fi} = \frac{1}{2}E_m - 0.0128ev$$ (أربع درجات)

السؤال الثالث: (20 درجة)

$$n_0 = \frac{N_d - N_a}{2} + \sqrt{(\frac{N_d - N_a}{2})^2 + n_i^2}$$ (ثلاث درجات)

$$n_0 = \frac{10^{18} - 0}{2} + \sqrt{(\frac{10^{18} - 0}{2})^2 + (2.26\times10^6)^2} = 10^{16} cm^{-3}$$ (التعويض ثلاث درجات والناتج درجتان)

$$p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(2.26\times10^6)^2}{10^{16}} = 3.24\times10^{-4} cm^{-3}$$ (القانون درجتان التعويض درجة والناتج درجة)

بالتالي تيار الجر: $J_n = (-q).n.V_n = q.n..\mu_n.E$ (ثلاث درجات)

$$J_n = 1.6\times10^{-19}\times10^{16}\times8500\times10 = 136 A/cm^2$$ (التعويض ثلاث درجات والناتج درجتان)

السؤال الرابع: (20 درجة)

$$R_n = R_P = \frac{C_n.C_P.N_t(n_p - n_i^2)}{C_n(n+n') + C_P(P+P')}$$ (خمس درجات)

C_n : ثابت يتناسب مع احتمال لقط الكترون بواسطة الفخ.

C_P : ثابت يتناسب مع احتمال لقط ثقب بواسطة الفخ.

N_t : كثافة الأفخاخ (درجة)

مثلاً نصف ناقل من النوع n.

$n_0 >> p_0 \quad n_0 >> \Delta p \quad n_0 >> n' \quad n_0 >> p'$ (ثلاث درجات)

حيث Δp تركيز الثقوب الزائدة: $n_0 >> n' \quad n_0 >> p'$.

عندئذ يكون مستوي طاقة الفخ قريباً من منتصف المجال المحظور فيصبح:

$R = C_P.N_t.\Delta p$ (ثلاث درجات)

يكون معدل العودة للاتحاد للحوامل الزائدة في نصف الناقل من النوع n تابعاً للحد C_P الذي يرتبط بالمقطع العرضي لـ لقط الثقوب ، بالمقارنة بالمعادلة $R = \frac{\Delta n}{t}$ نجد:

$$R = \frac{\Delta n}{t} = C_P.N_t.\Delta p = \frac{\Delta p}{t_p}$$ (خمس درجات)

حيث: $t_p = \frac{1}{C_P.N_t}$ (ثلاث درجات)

السؤال الخامس: (20 درجة)

بفرض أن المسار الحر الوسطي l حيث: $l = V_{Th}.t_C$ عندئذ الإلكترونات المتحركة نحو اليمين $x = -1$ والالكترونات المتحركة نحو اليسار $x = +1$ ستعبر المستوي $x = 0$ ، فنصف الالكترونات الموجودة عند $x = -1$ سيتحرك نحو اليمين والنصف الآخر سيتحرك نحو اليسار في لحظة معينة وسيكون التدفق F_n في الاتجاه $+x$ عند $x = 0$: (درجتان)

$$F_n = \frac{1}{2}n(-l)V_{Th} - \frac{1}{2}n(+l)V_{Th} = \frac{1}{2}[n(-l) - n(l)]$$ (ثلاث درجات)

بالنشر وفق تايلور:

$$F_n = \frac{1}{2}V_{Th} = \frac{1}{2}\left[n(0) - l\frac{dn}{dx}\right] - \left[n(0) + l\frac{dn}{dx}\right]$$ (ثلاث درجات)

$$F_n = -V_{Th}l\frac{dn}{dx}$$ (ثلاث درجات)

لكل الكترون شحنة $q-$ بالتالي التيار:

$$J = -q.F_n = qV_{Th}l.\frac{dn}{dx}$$ (ثلاث درجات)

أي أن عبارة تيار انتشار الالكترونات تتناسب مع تدرج تركيزها، بالتالي:

$$J_P(diff) = -q.D_P\frac{dP}{dx} \qquad J_n(diff) = q.D_n\frac{dn}{dx}$$ (ست درجات، ثلاثة لكل علاقة)

.....

مدرّس المقرر: د. صباح سيد قدوري