

## إلكترونيات الحالة الصلبة Solid-State Electronics

## الفصل 6

ص ١٦٥

مسائل تدريبية

١. إذا علمت أن كثافة عنصر الخارصين  $7.13 \text{ g/cm}^3$  وكتلته الذرية  $65.37 \text{ g/mol}$  وله إلكترونان حران في كل ذرة، فما عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتيمتر مكعب من الخارصين؟

الحل:

$$\begin{aligned} \text{free e}^- / \text{cm}^3 &= \left( \frac{2 \text{ free e}^-}{\text{atom}} \right) \left( \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}}{\text{mol}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol}}{65.37 \text{ g}} \right) \left( \frac{7.13 \text{ g}}{\text{cm}^3} \right) \\ &= 1.31 \times 10^{23} \text{ free e}^- / \text{cm}^3 \end{aligned}$$

٢. إذا علمت أن هناك غلكترونا حرا واحدا في كل ذرة لعنصر الفضة فاستخدم ملحق الجداول، واحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتيمتر مكعب من الذهب.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{free e}^- / \text{cm}^3 &= \left( \frac{1 \text{ free e}^-}{\text{atom}} \right) \left( \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}}{\text{mol}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol}}{107.87 \text{ g}} \right) \left( \frac{10.49 \text{ g}}{\text{cm}^3} \right) \\ &= 5.85 \times 10^{22} \text{ free e}^- / \text{cm}^3 \end{aligned}$$

٣. لعنصر الذهب إلكترون واحد حر في كل ذرة. استخدم ملحق الجداول، واحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتيمتر مكعب من الذهب.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{free e}^- / \text{cm}^3 &= \left( \frac{1 \text{ free e}^-}{\text{atom}} \right) \left( \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}}{\text{mol}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol}}{196.97 \text{ g}} \right) \left( \frac{19.32 \text{ g}}{\text{cm}^3} \right) \\ &= 5.90 \times 10^{22} \text{ free e}^- / \text{cm}^3 \end{aligned}$$

٤. لعنصر الألمنيوم ثلاثة إلكترونات حرة في كل ذرة. استخدم ملحق الجداول، واحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتيمتر مكعب من الألومنيوم.

الحل:

$$\text{free e}^-/\text{cm}^3 = \left(\frac{3 \text{ e}^-}{\text{atom}}\right) \left(\frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}}{\text{mol}}\right) \left(\frac{1 \text{ mol}}{26.982 \text{ g}}\right) \left(\frac{2.70 \text{ g}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$= 1.81 \times 10^{23} \text{ free e}^-/\text{cm}^3$$

٥. صنعت قبة نصب تذكاري من ٢٨٣٥ g من الألومنيوم. استخدم المسألة السابقة وحدد عدد الإلكترونات الحرة في قبة هذا النصب.

الحل:

$$\text{free e}^- = \left(1.81 \times 10^{23} \text{ free e}^-/\text{cm}^3\right) \left(\frac{2835 \text{ g}}{2.70 \text{ g/cm}^3}\right)$$

$$= 1.90 \times 10^{26} \text{ free e}^-$$



٦. كثافة عنصر الجرمانيوم النقي ٥,٢٣ g/cm<sup>٣</sup>، زكته الذرية ٧٢,٦ g/mol. ويوجد فيه ٢٥,٢٢ free e<sup>-</sup>/cm<sup>٣</sup> عند درجة حرارة الغرفة، ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة؟

الحل:

$$\text{free e}^-/\text{atom} = \left(\frac{1 \text{ mol}}{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}}\right) \left(\frac{72.6 \text{ g}}{1 \text{ mol}}\right) \left(\frac{\text{cm}^3}{5.23 \text{ g}}\right) \left(\frac{2.25 \times 10^{13} \text{ free e}^-}{\text{cm}^3}\right)$$

$$= 5.19 \times 10^{-10} \text{ free e}^-/\text{atom}$$

٧. لعنصر السيليكون ١,٨٩ free e<sup>-</sup>/cm<sup>٣</sup> عند درجة حرارة ٢٠٠,٠ K. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة؟ كم تكافئ درجة حرارة هذه بالسليسيوس؟

الحل:

$$\begin{aligned}\text{free e}^- / \text{atom} &= \left( \frac{1 \text{ mol}}{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}} \right) \left( \frac{28.09 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right) \left( \frac{\text{cm}^3}{2.33 \text{ g}} \right) \left( \frac{1.89 \times 10^{23} \text{ free e}^-}{\text{cm}^3} \right) \\ &= 3.78 \times 10^{-18} \text{ free e}^- / \text{atom} \\ T_K &= T_C + 273^\circ \\ T_C &= T_K - 273^\circ \\ &= 200.0^\circ - 273^\circ \\ &= -73^\circ \text{C}\end{aligned}$$

٨. لعنصر الجرامنيوم ١٦, ٣١ free e- /cm<sup>٣</sup> x ١٠١٠ عند درجة حرارة ١٠٠,٠ K. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة؟ كم تكافئ درجة الحرارة هذه بالسلسيوس؟

الحل:

$$\begin{aligned}\text{free e}^- / \text{atom} &= \left( \frac{1 \text{ mol}}{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}} \right) \left( \frac{28.09 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right) \left( \frac{\text{cm}^3}{2.33 \text{ g}} \right) \left( \frac{9.23 \times 10^{18} \text{ free e}^-}{\text{cm}^3} \right) \\ &= 1.85 \times 10^{-32} \text{ free e}^- / \text{atom} \\ T_K &= T_C + 273^\circ \\ T_C &= T_K - 273^\circ \\ &= 100.0^\circ - 273^\circ \\ &= -173^\circ \text{C}\end{aligned}$$

٩. لعنصر الجرمانيوم ١٦, ٣١ free e- /cm<sup>٣</sup> x ١٠١٠ عند درجة حرارة ٢٠٠,٠ K. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة؟

الحل:

$$\begin{aligned}\text{free e}^- / \text{atom} &= \left( \frac{1 \text{ mol}}{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}} \right) \left( \frac{72.6 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right) \left( \frac{\text{cm}^3}{5.23 \text{ g}} \right) \left( \frac{1.16 \times 10^{10} \text{ free e}^-}{\text{cm}^3} \right) \\ &= 2.67 \times 10^{-13} \text{ free e}^- / \text{atom}\end{aligned}$$

١٠. لعنصر الجرمانيوم ٤٧, ٣ free e- /cm<sup>٣</sup> عند درجة حرارة ١٠٠,٠ K. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة؟

الحل:

$$\text{free } e^- / \text{atom} = \left( \frac{1 \text{ mol}}{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}} \right) \left( \frac{72.6 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right) \left( \frac{\text{cm}^3}{5.23 \text{ g}} \right) \left( \frac{3.47 \times 10^{18} \text{ free } e^-}{\text{cm}^3} \right)$$

$$= 8.00 \times 10^{-23} \text{ free } e^- / \text{atom}$$



١١. إذا أردت الحصول على  $1.0 \times 10^{21}$  من إلكترونات الزرنيخ المعالج كإلكترونات حرة في السليكون عند درجة حرارة الغرفة، فما عدد ذرات الزرنيخ التي يجب أن توجد لكل ذرة سيليكون؟

الحل:

عرفت من المثال 3 أن السليكون يحتوي،  $4.99 \times 10^{23} \text{ Si atoms/cm}^3$  ويمتلك  $1.45 \times 10^{18} \text{ free } e^- / \text{cm}^3$  Si ويمتلك  $1 \text{ free } e^- / \text{atom}$ .

$$\text{عدد } e^- \text{ من As} = (\text{عدد } e^- \text{ من Si}) (1 \times 10^4)$$

أي أن نسبة الذرات المطلوبة، وليس الإلكترونات.

$$\text{As atoms} = \frac{\text{عدد } e^- \text{ من As}}{\text{free } e^- / \text{atom As}} = \frac{(1 \times 10^4) (\text{Si free } e^- / \text{cm}^3)}{\text{free } e^- / \text{atom As}}$$

$$\text{Si free } e^- / \text{cm}^3 = (\text{Si atoms}) \left( \frac{\text{free } e^- / \text{cm}^3 \text{ Si}}{\text{Si atoms/cm}^3} \right)$$

$$\text{As atoms} = \frac{(1 \times 10^4) (\text{Si atoms}) \left( \frac{\text{free } e^- / \text{cm}^3 \text{ Si}}{\text{Si atoms/cm}^3} \right)}{\text{free } e^- / \text{atom As}}$$

بالتعويض في علاقة ذرات As ينتج،

$$\frac{\text{As atoms}}{\text{Si atoms}} = \frac{(1 \times 10^4) \left( \frac{\text{free } e^- / \text{cm}^3 \text{ Si}}{\text{Si atoms/cm}^3} \right)}{\text{free } e^- / \text{atom As}}$$

$$\frac{\text{As atoms}}{\text{Si atoms}} = \frac{(1 \times 10^4) \left( \frac{1.45 \times 10^{18}}{4.99 \times 10^{23}} \right)}{1}$$

$$= 2.91 \times 10^2$$

١٢. إذا أردت الحصول على  $1.0 \times 10^{21}$  من إلكترونات الزرنيخ المعالج بوصفها إلكترونات حرة في الجرمانيوم شبه الموصل الذي وصف في المسألة ٦ فما عدد ذرات الزرنيخ التي يجب أن توجد لكل ذرة جرمانيوم؟

الحل:

$$\frac{\text{As atoms}}{\text{Ge atoms}} = \frac{(5 \times 10^3) \left( \frac{\text{free } e^- / \text{cm}^3 \text{ Ge}}{\text{Ge atoms/cm}^3} \right)}{\text{free } e^- / \text{atom As}}$$

$$\text{free } e^- / \text{cm}^3 \text{ Ge} = 2.25 \times 10^3 \quad \text{ومن المسألة 6}$$

$$\text{free } e^- / \text{atom As} = 1 \quad \text{ومن المثال 3}$$

$$\begin{aligned} \text{Ge atoms/cm}^3 &= \left( \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}}{1 \text{ mol}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol}}{72.6 \text{ g}} \right) \left( \frac{5.23 \text{ g}}{\text{cm}^3} \right) = 4.34 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3 \\ \frac{\text{As atoms}}{\text{Ge atoms}} &= \frac{(5 \times 10^3) \left( \frac{2.25 \times 10^3}{4.34 \times 10^{22}} \right)}{1} \\ &= 2.59 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

١٣. للجرمانيوم ١٣, ١٥١, ١٠ x ناقل حراري حر في كل cm<sup>3</sup> عند درجة حرارة ٤٠٠, ٠ K. إذ عولج الجرمانيوم بواسطة ذرة زرنيخ واحدة لكل مليون ذرة جرمانيوم، فما نسبة الناقلات المعالجة إلى الناقلات الحرارية؟

الحل:

باستخدام حل المسألة 12 كنقطة بداية.

$$\begin{aligned} \frac{\text{As atoms}}{\text{Ge atoms}} &= \frac{(\text{doped } e^-) \left( \frac{\text{free } e^- / \text{cm}^3 \text{ Ge}}{\text{Ge atoms/cm}^3} \right)}{\text{free } e^- \text{ عدد} / \text{atom As}} \\ \frac{\text{doped } e^-}{\text{Ge atoms}} &= \left( \frac{\text{As atoms}}{\text{Ge atoms}} \right) \left( \frac{\text{Ge atoms/cm}^3}{\text{free } e^- \text{ عدد} / \text{cm}^3 \text{ Ge}} \right) (\text{free } e^- / \text{atom As}) \\ &= \left( \frac{1}{1 \times 10^6} \right) \left( \frac{4.34 \times 10^{22}}{1.13 \times 10^{13}} \right) (1) \\ &= 38.4 \end{aligned}$$

١٤. للسيليكون ١٤, ٥٤, ١٢٤, ١٠ x ناقل حراري حر في كل cm<sup>3</sup> عند درجة حرارة ٤٠٠, ٠ K. إذا عولج السيليكون بواسطة ذرة زرنيخ واحدة لكل مليون ذرة سيليكون، فما نسبة الناقلات المعالجة إلى الناقلات الحرارية؟

الحل:

باستخدام حل المسألة 13 كنقطة بداية.

$$\begin{aligned} \frac{\text{doped } e^-}{\text{Si atoms}} &= \left( \frac{\text{As atoms}}{\text{Si atoms}} \right) \left( \frac{\text{Si atoms/cm}^3}{\text{free } e^- / \text{cm}^3 \text{ Si}} \right) (\text{free } e^- \text{ عدد} / \text{atom As}) \\ &= \left( \frac{1}{1 \times 10^6} \right) \left( \frac{4.99 \times 10^{22}}{4.54 \times 10^{12}} \right) (1) \\ &= 1.10 \times 10^4 \end{aligned}$$

١٥. في السؤال ١٤ كيف تتوقع أن يكون سلوك الأدوات المصنوعة من الجرمانيوم مقارنة بتلك المصنوعة من السيليكون عند درجات حرارة تزيد على درجة حرارة غليان الماء؟

الحل:

لا تعمل أدوات الجرمانيوم جيدا عند درجة الحرارة هذه، لأن نسبة النواقل المعالجة إلى النواقل الحرارية قليلة جدا في حين يكون لدرجة الحرارة تأثير كبير في الموصلية، فالسيليكون أفضل كثيرا.

#### 6-1مراجعة

١٦. حركة الناقل في أي المواد الموصلة أو شبه الموصلة أو العوازل يرجح أن تبقى الإلكترونات في الذرة نفسها؟

**الحل:**

العوازل.

١٧. أشباه الموصلات إذا زادت درجة الحرارة يزداد عدد الغلكترونات الحرة في اشباه الموصلات النقية. فمثلا زيادة درجة الحرارة بمقدار درجات سيليزية (٨ °C) يضاعف عدد الإلكترونات الحرة في السيليكون. فهل المرجح أن تعتمد موصلية الموصل النقي، أم شبه الموصل غير النقي، على درجة الحرارة؟ وضح إجابتك.

**الحل:**

شبه الموصل النقي، لأن مصدر موصليتها جميعا هو الإلكترونات، بينما تعتمد المادة شبه الموصلة المعالجة على الشحنات المحررة حراريا التي يكون مصدرها المعالجات (الشوائب) والتي تعتمد قليلا على درجة الحرارة.

١٨. عازل أم موصل؟ يستخدم ثاني أكسيد السيليكون على نطاق واسع في صناعة أدوات الحالة الصلبة. ويبين مخطط حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل. فهل ثاني أكسيد السيليكون مفيد أكثر بوصفه عازلا أم موصلا؟

**الحل:**

عازل.

١٩. موصل أم عازل؟ لأكسيد الماغنسيوم فجوة ممنوعة مقدارها ٨ eV. فهل هذه المادة موصلة أم عازلة أم شبه موصلة؟

**الحل:**

عازل.

٢٠. أشباه الموصلات النقية وغير النقية إذا كنت تصمم دائرة متكاملة باستخدام بلورة سليكون، وأردت أن تحصل على منطقة ذات خصائص عازلة جيدة نسبياً، فهل يجب أن تعالج هذه المنطقة أم تتركها بوصفها شبه موصل نقي؟

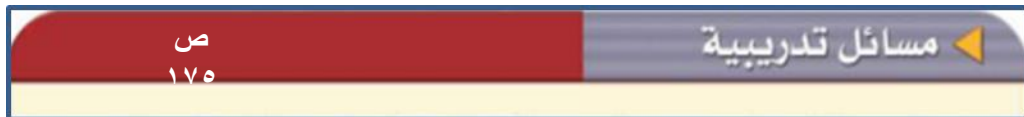
**الحل:**

نتركها كشبه موصل نقي.

٢١. التفكير الناقد يتضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها السيليكون عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها ٨ °C، ويتضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها الجرمانيوم عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها ١٣ °C. يبدو أن الجرمانيوم أفضل للتطبيقات ذات درجة الحرارة الكبيرة، ولكن العكس هو الصحيح. وضح ذلك.

**الحل:**

إن السيليكون يظهر نواقل محررة حرارياً أقل كثيراً عند أي درجة حرارة، حتى لو أن معدل تغير إنتاج الناقل الحراري كبير بالنسبة له.



٢٢. ما جهد البطارية اللازم لتوليد تيار كهربائي مقداره ٢,٥ mA في الدايود الوارد في المثال ٤؟

الحل:

$$1.7 \text{ V}$$

باستخدام الشكل 9-10، فإن للدايود:

$$V_d = 0.50 \text{ V عند } 2.5 \text{ mA}$$

$$V_b = IR + V_d$$

$$= (0.0025 \text{ A})(470 \Omega) + 0.50 \text{ V}$$

$$= 1.7 \text{ V}$$

٢٣. ما جهد البطارية اللازم لتوليد تيار كهربائي مقداره ٢,٥ mA إذا وصل دايود آخر مماثل على التوالي مع الدايود الوارد في المثال ٤؟

الحل:

$$V_b = IR + V_d + V_d$$

$$= (0.0025 \text{ A})(470 \Omega) + 0.50 \text{ V} + 0.50 \text{ V}$$

$$= 2.2 \text{ V}$$

٢٤. صف كيف يجب أن يوصل الدايودان معا في المسألة السابقة؟

الحل:

يوصل مصعد إحدى الدايودين مع مهبط الدايود الآخر. لذا يتعين أن يوصل المصعد غير الموصل مع الطرف الموجب للدائرة.

٢٥. صف ما يحدث في المسألة ٢٣ إذا وصل الدايودان على التوالي في اتجاه غير صحيح.

الحل:



سيكون من المستحيل الحصول على تيار مقداره ٢,٥ mA مع أي جهد لمصدر قدرة منطقي، لأن أحد الدايودات سيكون منزاحا عكسيا.

٢٦. يبلغ مقدار الهبوط في الجهد للدايود المصنوع من الجرمانيوم ٠,٤٠ V عند مرور تيار كهربائي مقداره ١٢ mA خلاله. فإذا وصل مقاوم مقداره ٤٧٠ Ω على التوالي مع الدايود فما جهد البطارية اللازم؟

الحل:

$$\begin{aligned} 6.0 \text{ V} \\ V_b &= IR + V_d \\ &= (0.012 \text{ A})(470 \Omega) + 0.40 \text{ V} \\ &= 6.0 \text{ V} \end{aligned}$$

٢٧. دائرة الترانزستور تيار الباعث في دائرة الترانزستور يساوي دائما مجموع تيار القاعدة والجامع:  $I_E = I_B + I_C$ . فإذا كان كسب التيار من القاعدة إلى الجامع يساوي ٩٥، فما النسبة بين تيار الباعث إلى تيار القاعدة؟

الحل:

$$\text{الكسب} = \frac{I_C}{I_B} = 95$$

$$I_E = I_B + I_C$$

بقسمة طرفي المعادلة على  $I_B$ .

$$\frac{I_E}{I_B} = 1 + \frac{I_C}{I_B} = 1 + 95 = 96$$

النسبة بين تيار الباعث إلى تيار القاعدة، 96 إلى 1

٢٨. هبوط جهد الدايود إذا كان الدايود في الشكل ٦-٩ منحازا إلى الأمام بواسطة بطارية ومقاوم موصول معه على التوالي، وتكون تيار يزيد على

١٠ mA، وهبوط في الجهد دائما ٧٠,٧٠ V تقريبا – افترض أن جهد البطارية زاد بمقدار ٧١ – احسب:

a. مقدار الزيادة في الجهد عبر الدايود أو الجهد عبر المقاوم.

b. مقدار الزيادة في التيار المار في المقاوم.

الحل:

a. لان الجهد عبر الدايود دائما ٧٠,٧٠ V، فإن الجهد عبر المقاومة يزيد بمقدار ٧١.

b. يزداد التيار بمقدار  $I = 1V/R$

٢٩. مقاوم الدايود قارن بين مقادري مقاومة الدايود نوع pn عندما يكون منحازا إلى الأمام وعندما يكون منحازا عكسيا.

الحل:

يكون توصيل الدايود أفضل عندما يكون منحازا أماميا. فتكون عندئذ مقاومته صغيرة جدا مقارنة بوضعه عندما يكون منحازا انحياز عكسيا.

٣٠. قطبية الدايود في الدايود المشع للضوء، ما الطرف الذي يجب ان يوصل مع الطرف P لجعل الدايود يضيء؟

الحل:

يجب أن يكون الدايود منحازا أماميا، أي يجب أن يكون القطب الموجب موصولا مع الطرف P.

٣١. كسب التيار إذا قيس تيار القاعدة في دائرة الترانزستور فكان ٥٥  $\mu A$ ، وكان تيار الجامع ٦,٦ mA، فاحسب مقدار كسب التيار من القاعدة إلى الجامع.

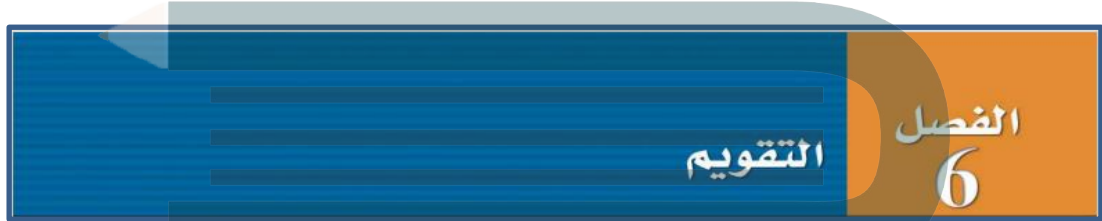
الحل:

$$\text{الكسب} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{6.6 \text{ mA}}{0.055 \text{ mA}} = 120$$

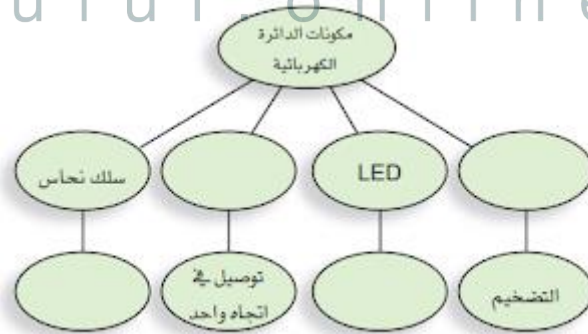
٣٢. التفكير الناقد هل يمكن أن تستبدل ترانزستور npn يدايودين منفصلين يوصلان معا من الطرف P لكل منهما؟ وضح إجابتك.

الحل:

لا، لان منطقة p للترانزستور npn يجب أن تكون رقيقة لدرجة كافية لكي تسمح للإلكترونات بالعبور من خلال القاعدة إلى الجامع.



٣٣. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الترانزستور، دايود السيليكون، يبعث ضوءا، يوصل الكهرباء في كلا الاتجاهين.



الحل:



### إتقان المفاهيم

٣٤. كيف تختلف مستويات الطاقة في بلورة عنصر معين عن مستويات الطاقة في ذرة مفردة من ذلك العنصر؟

**الحل:**

تمتلك مستويات الطاقة للذرة المفردة قيما منفصلة ووحيدة، أما مستويات الطاقة في البلورة فتمتلك مدى صغيرا حول القيم الموجودة في الذرة المفردة.

٣٥. لماذا يؤدي تشخين أشباه الموصلات إلى زيادة موصليتها؟

**الحل:**

تعطي كمية الحرارة العالية طاقة إضافية للإلكترونات، مما يسمح بوصول المزيد من الإلكترونات إلى حزمة التوصيل.

٣٦. ما الناقل الرئيس للتيار في المادة شبه الموصلة من النوع P؟

**الحل:**

ثقوب ذات شحنة موجبة.

٣٧. يطبق جهاز الأوميتر فرق الجهد عبر الأداة لفحصها، وقيس التيار، ويبين مقاومة الأداة. إذا قمت بتوصيل الأوميتر عبر الدايدود، فهل يعتمد التيار الذي نقيسه على أي طرف للدايدود يوصل مع القطب الموجب لجهاز الأوميتر؟ وضح إجابتك.

**الحل:**

نعم، هناك طريقة واحدة لجعل الدايدود منحازا أماميا، أما الطريقة الأخرى فتجعله منحازا عكسيا.

٣٨. ما معنى رأس السهم على الباعث في رمز دائرة الترانزستور؟

**الحل:**

رأس السهم هو الذي يوضح اتجاه التيار الاصطلاحي.

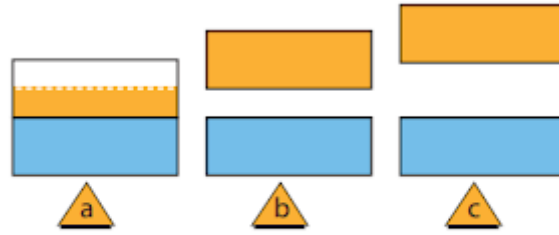
٣٩. صف تركيب الدايدود المنحاز أماميا. ووضح كيفية عمله.

**الحل:**

يحتوي الدايدود المنحاز أماميا على طبقة شبه موصلة من النوع  $p$ ، وطبقة شبه موصلة من النوع  $n$ ، وهاتان الطبقتان موصولتان من نهايتهما بأسلاك بواسطة أغشية فلزية. وتكون الطبقة من النوع  $p$  موصولة مع القطب الموجب للبطارية. تنشأ ثقوب جديدة في الطبقة من النوع  $p$ ، زنتحرك هذه الثقوب نحو الحد الفاصل بين المادتين شبه الموصلتين. في حين تضاف غلكترونات جديدة إلى الطبقة من النوع  $n$ ، وتتحرك هذه الإلكترونات نحو الحد الفاصل بين المادتين شبه الموصلتين، وعندما تتحد الثقوب والإلكترونات معا، تكتمل الدائرة ويتدفق تيار، بحيث يكون اتجاهه من الطبقة شبه الموصلة من النوع  $p$  إلى الطبقة شبه الموصلة من النوع  $n$ .

تطبيق المفاهيم

٤٠. في مخطط حزم الطاقة الموضح في الشكل ٦-١٥ أي منها تمثل المادة التي لها أكبر مقاومة؟



الشكل 6-15

الحل:

الحزمة C.

٤١. في مخططات حزم الطاقة الموضحة في الشكل ٦-١٥ أيها له حزم توصيل نصف ممتلئة؟

الحل:

الحزمة A.

٤٢. في مخططات حزم الطاقة الموضحة في الشكل ٦-١٥ أيها يمثل أشباه موصلات؟

الحل:

الحزمة B.

٤٣. تتناقص مقاومة الجرافيت عندما ترتفع درجة الحرارة. فهل توصيل الجرافيت للكهرباء أكثر من النحاس أم السليكون؟

الحل:

أكثر شيها بالسيليكون Si.

٤٤. أي المواد الآتية تعمل عوازل جيدة: مادة لها فجوة ممنوعة عرضها  $8 \text{ eV}$ ، أم مادة لها فجوة ممنوعة عرضها  $3 \text{ eV}$ ، أم مادة ليس لها فجوة ممنوعة؟

الحل:

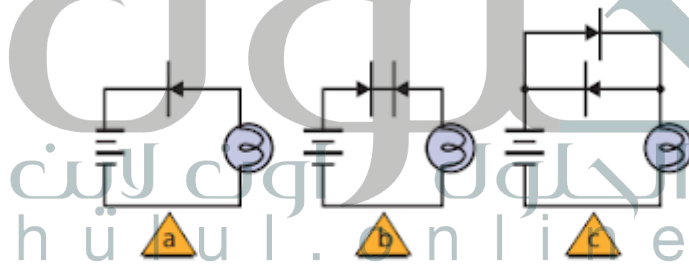
مادة تمتلك فجوة ممنوعة عرضها  $8 \text{ eV}$ .

٤٥. بالنسبة لذرات المواد الثلاث الواردة في السؤال السابق، أي هذه المواد أكثر صلابة عند انتزاع إلكترون منها؟

الحل:

مادة تمتلك فجوة ممنوعة عرضها  $8 \text{ eV}$ .

٤٦. حدد إذا كان المصباح في كل من الدوائر a, b, c الموضحة في الشكل ٦-١٦ مضيئاً أم لا.

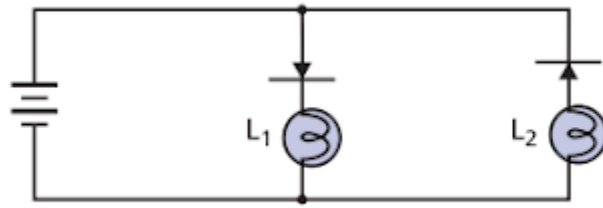


الشكل 6-16

الحل:

الدائرة a: لا يضيء، الدائرة b: لا يضيء، الدائرة c: نعم يضيء.

٤٧. في الدائرة الموضحة في الشكل ٦-١٧، حدد ما إذا كان أحد المصباحين  $L_1$  و  $L_2$  مضيئاً، أم كلاهما مضيء، أم كلاهما غير مضيء.



الشكل 6-17

**الحل:**

L1 مضيء ، L2 غير مضيء.

٤٨. استخدم الجدول الدوري لتحديد أي العناصر الآتية يمكن أن يضاف إلى الجرمانيوم لتكوين شبه موصل من النوع p: Ge ، Al ، Si ، P ، N ، C ، B ، Sb ، In ، As ، Ga.

**الحل:**

العناصر هي: B ، Al ، Ga ، In.

٤٩. هل يظهر جهاز الأميتر مقاومة أكبر عندما يكون الصمام من نوع pn منحازا أماميا أم منحازا عكسيا؟

**الحل:**

يظهر الصمام من نوع pn مقاومة أقل عندما يكون منحازا أماميا.

٥٠. إذا أظهر جهاز الأوميتر في المسألة السابقة مقاومة متدنية فهل يكون سلك توصيل الأوميتر عند رأس سهم الصمام الثاني ذا جهد مرتفع أم ذا جهد مرتفع أم ذا جهد منخفض، مقارنة بالسلك الآخر الموصول بالأوميتر؟

**الحل:**

يكون ذا جهد مرتفع، أي موجب أكثر.

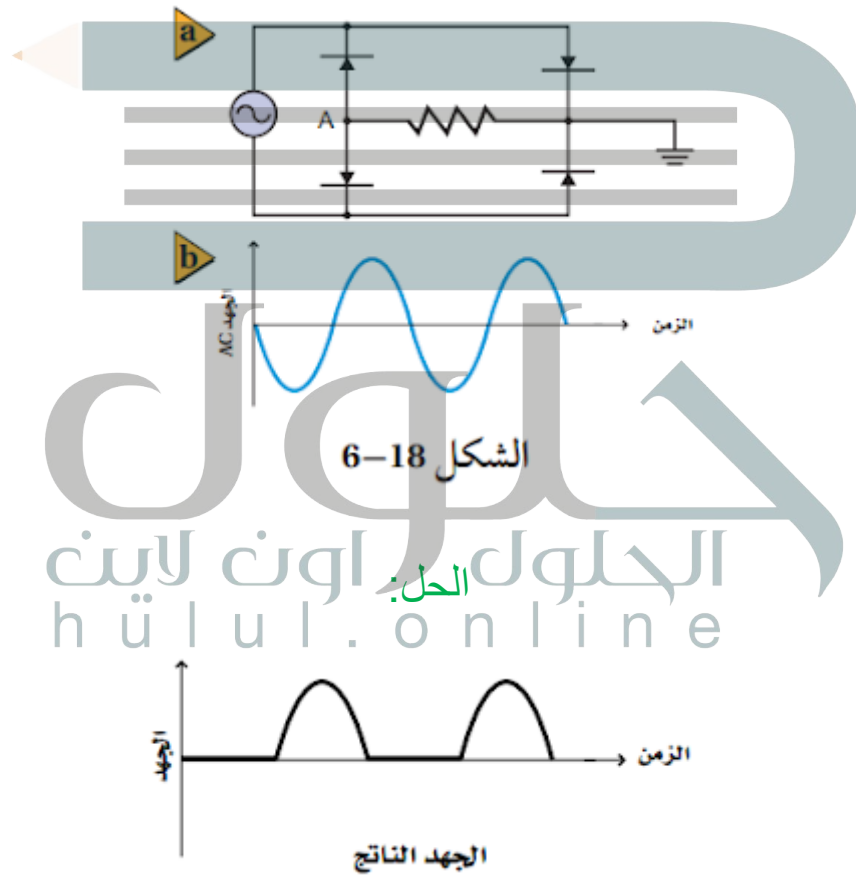


٥١. إذا قمت بمعالجة الجرمانيوم النقي بعنصر الجاليوم وحده، فهل تنتج مقاوماً، أم دايوداً، أم ترانزستوراً؟

**الحل:**

تنتج مقاوماً لأنه لا يوجد وصلة.

٥٢. ارسم الشكل الموجي للزمن مقابل الاتساع للنقطة A في الشكل ٦-١٨. a مفترضاً أن الشكل الموجي للتيار المتردد AC الداخل، كما هو موضح في الشكل ٦-١٨. b.



تكون النقطة A سالبة إلى الأرض، ويظهر الرسم البياني للموجة الناتجة قطع قطبية التيار المتردد السالبة للموجة المدخلة.

إتقان حل المسائل

## ٦-١ التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة

٥٣. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في سنتيمتر مكعب من الصوديوم؟ علما أن كثافته تساوي ٠,٩٧١ g/cm<sup>3</sup>، وكتلته الذرية تساوي ٢٢,٩٩ g/mol، عندما يوجد إلكترون حر واحد في كل ذرة.

الحل:

$$\text{free } e^-/\text{cm}^3 = \left( \frac{1 e^-}{\text{atom}} \right)$$

$$\left( \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}}{\text{mol}} \right) \left( \frac{0.971 \text{ g}}{\text{cm}^3} \right) \left( \frac{\text{mol}}{22.99 \text{ g}} \right)$$

$$= 2.54 \times 10^{22} \text{ free } e^-/\text{cm}^3$$

٥٤. تحرر طاقة حرارية ١,٥٥ e-/cm<sup>3</sup> x ١٠٩ في السيليكون النقي عند درجة حرارة ٠ °C، إذا علمت أن كثافة السيليكون تساوي ٢,٣٣ g/cm<sup>3</sup>، والكتلة الذرية للسيليكون تساوي ٢٨,٠٩ g/mol فما نسبة الذرات التي تحتوي على إلكترونات حرة؟

الحل:

$$\left( \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}}{\text{mol}} \right) \left( \frac{2.33 \text{ g}}{\text{cm}^3} \right) \left( \frac{\text{mol}}{28.09 \text{ g}} \right)$$

$$1.55 \times 10^9 \text{ atom}/e^-$$

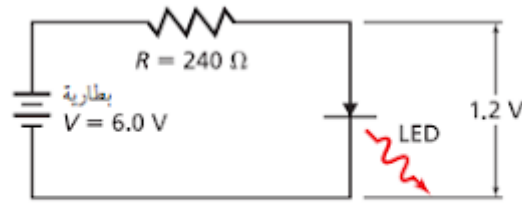
$$= 3.22 \times 10^{13} \text{ atom}/e^-$$

## ٦-٢ الأدوات الإلكترونية

٥٥. LED إذا كان هبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء المتوهج يساوي ١,٢ V تقريبا. وفي الشكل ٦-١٩، فإن هبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء. ما مقدار التيار الكهربائي المار خلال كل مما يأتي؟

a. الدايود المشع للضوء LED.

b. المقاومة.



الشكل 19-6

الحل:

a.

$$\begin{aligned} V_b &= IR + V_d \\ I &= \frac{V_b - V_d}{R} \\ &= \frac{6.0 \text{ V} - 1.2 \text{ V}}{240 \Omega} \\ &= 2.0 \times 10^1 \text{ mA} \end{aligned}$$

b.

$$= 2.0 \times 10^1 \text{ mA}$$

٥٦. أراد عمر زيادة التيار المار خلال الدايود المشع للضوء في المسألة السابقة ليصبح  $3 \text{ mA} \times 1.0$  على أن تكون إضاءته أكثر سطوعاً. افترض أن هبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء بقي  $1.2 \text{ V}$ ، فما مقدار المقاومة التي ينبغي له استخدامها؟

الحل:

$$R = \frac{V_b - V_d}{I} = \frac{6.0 \text{ V} - 1.2 \text{ V}}{3.0 \times 10^1 \text{ mA}} = 160 \Omega$$

٥٧. الدايمود وصل دايمود من السليكون ذو الخصائص  $I/V$  الموضحة في الشكل ٩-٦ مع بطارية من خلال مقاومة مقدارها  $270 \Omega$ . إذا كان الدايمود منحازا إلى الأمام بواسطة بطارية، وكان تيار الدايمود يساوي  $15 \text{ mA}$ ، فما مقدار جهد البطارية؟

الحل:

$$V_b = IR + V_d$$

$$V_d = 0.70 \text{ V (من الشكل)}$$

$$V_b = (15 \text{ mA})(270 \Omega) + 0.70 \text{ V}$$

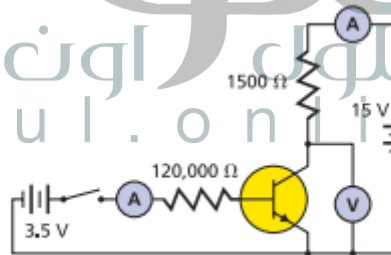
$$= 4.8 \text{ V}$$

٥٨. افترض أن المفتاح الموضح في الشكل ٦-٢٠ مفتوح، وحدد كلا من:

a. تيار القاعدة.

b. التيار الجامع.

c. قراءة جهاز الفولتمتر.



الشكل 20-6

الحل:

a. من خلال معاينة الشكل فإن دائرة القاعدة مفتوحة، لذا يكون تيار القاعدة صفراً.

- b. من التعريف: إذا كان تيار القاعدة صفرا، فذلك تيار الجامع صفرا.  
c.  $V_{15}$ ، فعندما لا يكون هناك تدفق للتيار، فإن الهبوط عبر المقاومة يكون صفرا، ويكون هبوط الـ  $V_{15}$  عبر الترانزستور.

٥٩. افترض أن المفتاح الموضح في الشكل ٦-٢٠ مغلق، وهبوط الجهد عبر وصلة القاعدة – الباعث يساوي  $0.70V$ ، وكسب التيار من القاعدة للجامع يساوي  $220$ ، وحدد كلا من:

a. تيار القاعدة.

b. تيار الجامع.

c. قراءة الفولتمتر.

الحل:

a.

$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{3.5V - 0.70V}{120000\Omega}$$

$$= 2.3 \times 10^{-5} A$$

b.

$$\frac{I_C}{I_B} = 220$$

$$I_C = 220 I_B$$

$$= (220)(2.3 \times 10^{-5} A)$$

$$= 5.1 \times 10^{-3} A$$

c.

نجد الهبوط عبر المقاومة  $1500 \Omega$  ،

$$\begin{aligned} V_{\text{مقاومة}} &= IR \\ &= (5.1 \times 10^{-3} \text{ A})(1500 \Omega) \\ &= 7.7 \text{ V} \end{aligned}$$

وبما أن الأميتر متصل عبر الترانزستور فإن :

$$\begin{aligned} V_{\text{ترانزستور}} &= V_{\text{مقاومة}} + V_{\text{بطارية}} \\ V_{\text{ترانزستور}} &= V_{\text{أميتر}} \\ &= V_{\text{مقاومة}} - V_{\text{بطارية}} \\ &= 15 \text{ V} - 7.7 \text{ V} \\ &= 7.3 \text{ V} \end{aligned}$$

### مراجعة عامة

٦٠. الموجات الكهرومغناطيسية التي تصطدم بالسيليكون تحرك الإلكترونات من حزمة التكافؤ على حزمة التوصيل عندما تكون الفجوة الممنوعة فيه  $1.1 \text{ eV}$ . ما أكبر طول موجي للإشعاع الذي يمكن أن يثير الإلكترون بهذه الطريقة؟ تذكر أن  $E = 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm} / \lambda$ .

الحل:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{1.1 \text{ eV}} \\ &= 1100 \text{ nm} \end{aligned}$$

وهو قريباً من الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء.

٦١. صمام الـ Si يظهر دايود السيليكون الخاص عند درجة حرارة  $0^\circ \text{C}$  تياراً كهربائياً مقداره  $1.0 \text{ nA}$  عندما يكون منحازاً عكسياً. ما التيار الذي يمكن توقعه إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى  $104^\circ \text{C}$ ؟ افترض أن جهد

القاعدة العكسي بقي ثابتا. (إنتاج الناقل الحراري للسيليكون يتضاعف لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها ٨ °C).

الحل:

$$\frac{104^{\circ}\text{C}}{8^{\circ}\text{C}} = 13 = \text{عدد المرات التي سيزيدها عند } 8^{\circ}\text{C}$$

أي أن التيار سيتضاعف 13 مرة.

$$104^{\circ}\text{C} = (1.5\text{ nA})(2^{13}) = 8.2\text{ }\mu\text{A}$$

٦٢. صمام الـ Ge يظهر دايود الجرمانيوم الخاص عند درجة حرارة ٠ °C تيارا كهربائيا مقداره ١,٥ μA عندما يكون منحازا عكسيا. ما التيار الذي يمكن توقعه إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى ١٠٤ °C؟ افترض أن جهد القاعدة العكسي بقي ثابتا. (إنتاج الناقل الحراري للجرمانيوم يتضاعف لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها ١٣ °C).

الحل:

$$\frac{104^{\circ}\text{C}}{13^{\circ}\text{C}} = 8 = \text{عدد مرات التي سيزيدها عند } 13^{\circ}\text{C}$$

أي أن التيار سيتضاعف 8 مرات.

$$104^{\circ}\text{C} = (1.5\text{ }\mu\text{A})(2^8) = 380\text{ }\mu\text{A}$$

٦٣. LED ينتج الدايود المشع للضوء ضوءا أخضر طوله الموجي ٥٥٠ nm عندما تتحرك الإلكترونات من حزمة التوصيل إلى حزمة التكافؤ. احسب عرض الفجوة الممنوعة بوحدة eV في هذا الدايود.

الحل:

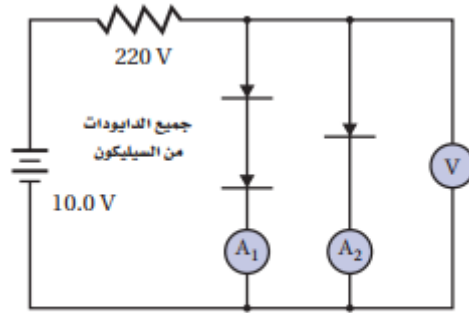
$$E = \frac{1240\text{ eV.nm}}{550\text{ nm}} = 2.25\text{ eV}$$

٦٤. ارجع إلى الشكل ٦-٢١ وحدد كلا من:

a. قراءة الفولتمتر.

b. قراءة A<sub>1</sub>.

c. قراءة A<sub>2</sub>.



الشكل 6-21

الحل:

a.  $V = 0.70$  ، وذلك بمعينة الدائرة والتقريب فإن الهبوط عبر دايود السيليكون  $V = 0.70$  عندما يكون منحازا انحيازاً أمامياً.

b.  $A = 0$  ، وذلك بمعينة الدائرة ، فغن  $V = 0.70$  غير كافية لتشغيل دايودين متصلين على التوالي.

c.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10.0 \text{ V} - 0.70 \text{ V}}{220 \Omega} = 42 \text{ mA}$$

٦٥. تطبيق المفاهيم هناك بعض المحركات في الشكل ٦-٢٢، تدور في اتجاه عند تطبيق قطبية معينة وتدور في الاتجاه المعاكس عند عكس القطبية.

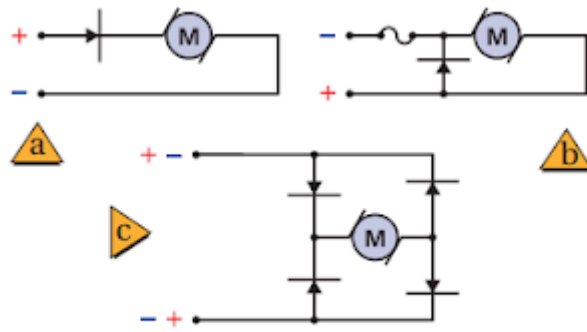
a. أي دائرة (a ، b ، c) ستسمح للمحرك بالدوران في اتجاه واحد فقط؟

b. أي دائرة ستؤدي إلى تلف المنصهر الكهربائي (الفيز) عند تطبيق قطبية غير صحيحة؟

c. أي دائرة تنتج اتجاه دوران صحيح بغض النظر عن القطبية المطبقة؟

d. ناقش مزايا وعيوب كل من الدوائر الثلاث.





الشكل 6-22

الحل:

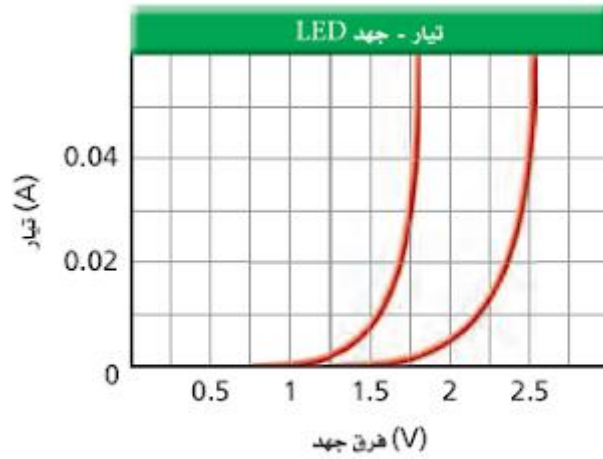
a. a

b. b

c. c

d. الدائرة في الفرع a لها ميزة إيجابية، ألا وهي بساطتها، أما ميزتها السلبية، فهي هبوط في الجهد مقداره  $V_{0,70}$ ، والتي يمكن أن تكون مهمة في دوائر الجهد المنخفض. الدائرة في الفرع b لها ميزة إيجابية، ألا وهي عدم ضياع  $V_{0,70}$ ، ولها ميزة سلبية، ألا وهي أنه ينبغي تبديل المنصهرات. الدائرة في الفرع c لها ميزة إيجابية، وهي أنها دائمة العمل بغض النظر عن قطبيتها، وميزتها السلبية تتمثل في ضياع  $V_{1,4}$ .

٦٦. تطبيق المفاهيم يوضح الشكل ٦-٢٣ خصائص  $I/V$  لاثنتين من الدايودات المشعة للضوء والتي تتوهج بألوان مختلفة. يتعين أن يوصل كل دايود ببطارية جهدها  $V_{9,0}$  من خلال مقاومة. إذا كان كل دايود يشغل بتيار مقداره  $A_{0,040}$ ، فما مقدار المقاومات التي ينبغي اختيارها لكل دايود؟



الشكل 23-6

الحل:

$$V_b = IR + V_D$$

$$R = \frac{V_b - V_D}{I}$$

$$R_1 = \frac{9.0 \text{ V} - 1.75 \text{ V}}{0.040 \text{ A}} = 180 \Omega$$

$$R_2 = \frac{9.0 \text{ V} - 2.5 \text{ V}}{0.040 \text{ A}} = 160 \Omega$$

٦٧. تطبيق المفاهيم افترض أن الصمامين الثنائيين الواردين في المسألة السابقة قد وصلوا معا على التوالي، فإذا استخدمت البطارية الواردة في المسألة السابقة نفسها، وكان التيار المطلوب يساوي ٠,٠٣٥ A، فما المقاوم الذي ينبغي استخدامه؟

الحل:

$$R = \frac{V_b - (V_{D1} + V_{D2})}{I}$$

$$= \frac{9.0 \text{ V} - (1.75 \text{ V} + 2.5 \text{ V})}{0.035 \text{ A}} = 140 \Omega$$

الكتابة في الفيزياء

٦٨. ابحث حول مبدأ الاستبعاد لباولي وحياء فولفجانج باولي، وسلط الضوء على إسهاماته البارزة في مجال العلوم. وصف تطبيق مبدأ الاستبعاد على نظرية الحزم في التوصيل، وخصوصاً في أشباه الموصلات.

**الحل:**

اقرأ الموضوع التالي مبدأ الاستبعاد لباولي: انقر هنا

٦٩. اكتب مناقشة تتكون من صفحة واحدة حول مستوى طاقة فيرمي عند تطبيقها على مخططات حزم الطاقة لأشباه الموصلات على أن تتضمن المناقشة رسماً واحداً على الأقل.

**الحل:**

اقرأ الموضوع التالي مستوى طاقة فيرمي: انقر هنا

**مراجعة تراكمية**

٧٠. أنبوب من النحاس طوله  $2.00 \text{ m}$  عند  $23^\circ\text{C}$ . ما مقدار التغير في طوله إذا ارتفعت درجة حرارته إلى  $978^\circ\text{C}$ ؟

**الحل:**

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$= (16 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1})(2.00 \text{ m})(978^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C})$$

$$= 3.1 \times 10^{-2} \text{ m}$$

اختبار مقنن

١. أي العبارات الآتية الخاصة بالدايود تعد غير صحيحة؟

- a. تضخيم الجهد
- b. الكشف عن الضوء
- c. أن يبعث ضوءا
- d. تقويم التيار المتردد

الحل:

الاختيار الصحيح هو: A

٢. تحتوي كل ذرة كاديوم على إلكترونين حرين. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في  $1 \text{ cm}^3$  لعنصر الكاديوم، علما أن كثافة الكاديوم تساوي  $8650 \text{ Kg/m}^3$ ؟

- a.  $1.24 \times 10^{21}$
- b.  $9.26 \times 10^{22}$
- c.  $9.26 \times 10^{24}$
- d.  $1.17 \times 10^{27}$

الحل:

الاختيار الصحيح هو: B

٣. إذا كان تيار القاعدة في دائرة الترانزستور يساوي  $45 \mu\text{A}$  وتيار الجامع يساوي  $8.5 \text{ mA}$ ، فما مقدار كسب التيار من القاعدة إلى الجامع؟

- a. ١١٠
- b. ١٩٠

c. ٢٠٥

d. ٢٤٠

الحل:

الاختيار الصحيح هو: B

٤. في المسألة السابقة إذا زاد تيار القاعدة بمقدار  $٥ \mu A$ ، فما مقدار الزيادة في تيار الجامع؟

a.  $٥ \mu A$

b.  $١ mA$

c.  $١٠ mA$

d.  $١٩٠ \mu A$

الحل:

الاختيار الصحيح هو: B

٥. تبين دائرة ترانزستور أن تيار الجامع  $٤,٧٥ mA$ ، زكسب التيار من القاعدة على الجامع  $٢٥٠$ ، فما مقدار تيار القاعدة؟

a.  $١,١٩ \mu A$

b.  $١٨,٩ \mu A$

c.  $٤,٧٥ mA$

d.  $١١٩٠ mA$

الحل:

الاختيار الصحيح هو: B

٦. أي الصفوف في الجدول الآتي تمثل الوصف الأفضل لأشباه موصلات السيليكون لكل من النوع n والنوع p؟

- | النوع n            | النوع P         |
|--------------------|-----------------|
| a. معالج بالجاليوم | إلكترونات مضافة |
| b. إلكترونات مضافة | معالج بالزرنيخ  |
| c. معالج بالزرنيخ  | فجوات مضافة     |
| d. فجوات مضافة     | معالج بالجاليوم |

الحل:

الاختيار الصحيح هو: C

٧. أي الصفوف الآتية تمثل أفضل وصف لسلوك أشباه الموصلات النقية – سيكون نقي – عند زيادة درجة الحرارة؟

- | الموصلية | المقاومة |
|----------|----------|
| a. تزداد | تزداد    |
| b. تزداد | تقل      |
| c. تقل   | تزداد    |
| d. تقل   | تقل      |

الحل:

الاختيار الصحيح هو: B

٨. يتضاعف إنتاج الإلكترون حراريا في السيليكون لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره ٨ °C. يظهر صمام السيليكون تيارا ٢٠٠ nA عند درجة

حرارة ٠ °C عندما يكون منحازا عكسيا. كم يكون مقدار التيار عند ١٢ °C إذا كان جهد القاعدة العكسي ثابتا؟

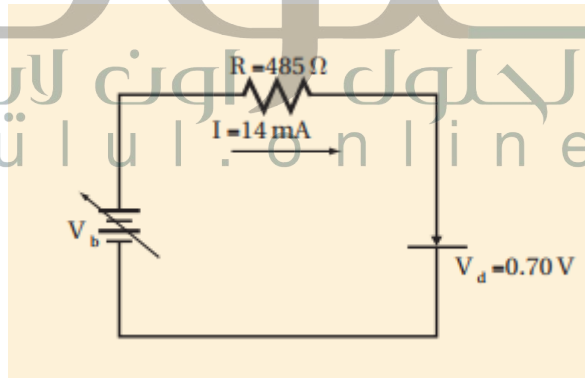
- a. ١١  $\mu A$
- b. ٣٣  $\mu A$
- c. ٤٤  $\mu A$
- d. ٦٦  $\mu A$

الحل:

الاختيار الصحيح هو: B

### الأسئلة الممتدة

٨. وصل دايود السليكون في اتجاه منحاز إلى الأمام مع مصدر قدرة من خلال مقاوم مقداره ٤٨٥  $\Omega$ ، كما موضح أدناه، إذا كان هبوط جهد الدايود يساوي ٠,٧٠ V، فما مقدار جهد مصدر القدرة عندما يكون تيار الدايود ١٤ mA؟



الحل:

$$V_b = IR + V_b$$

$$V_b = (0.014 \text{ mA})(485 \Omega) + 0.70 \text{ V} = 7.5 \text{ V}$$