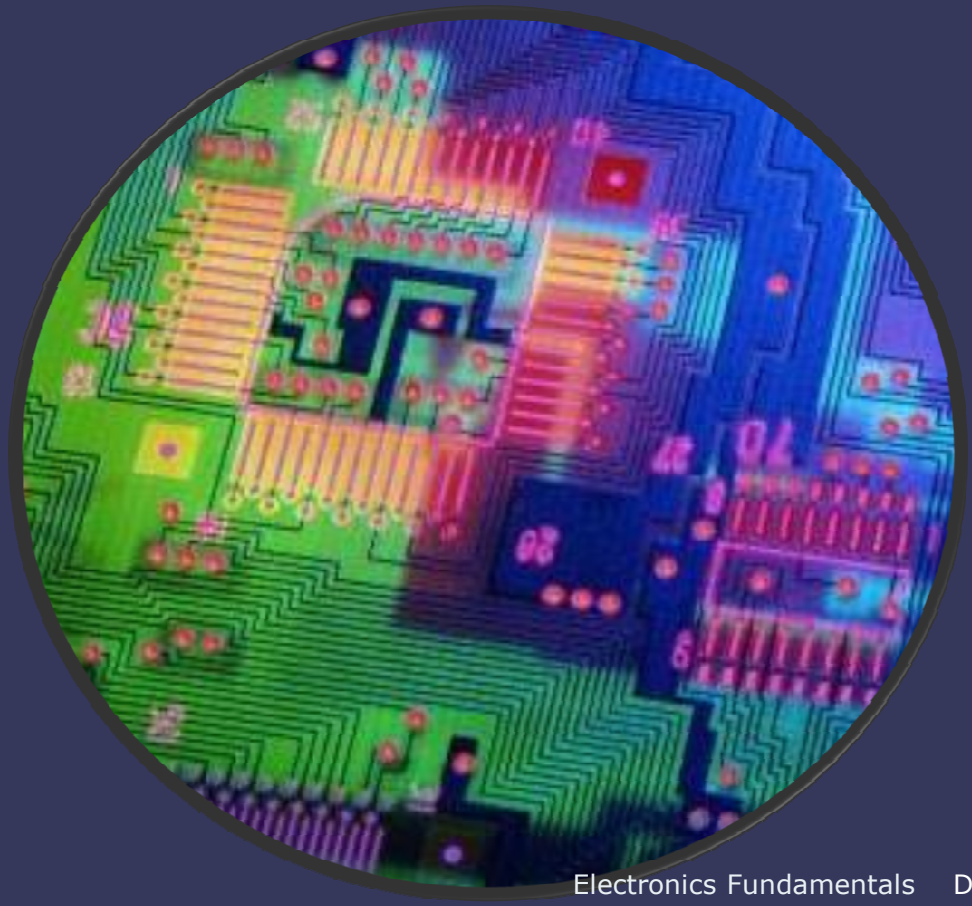
Electronics Fundamentals

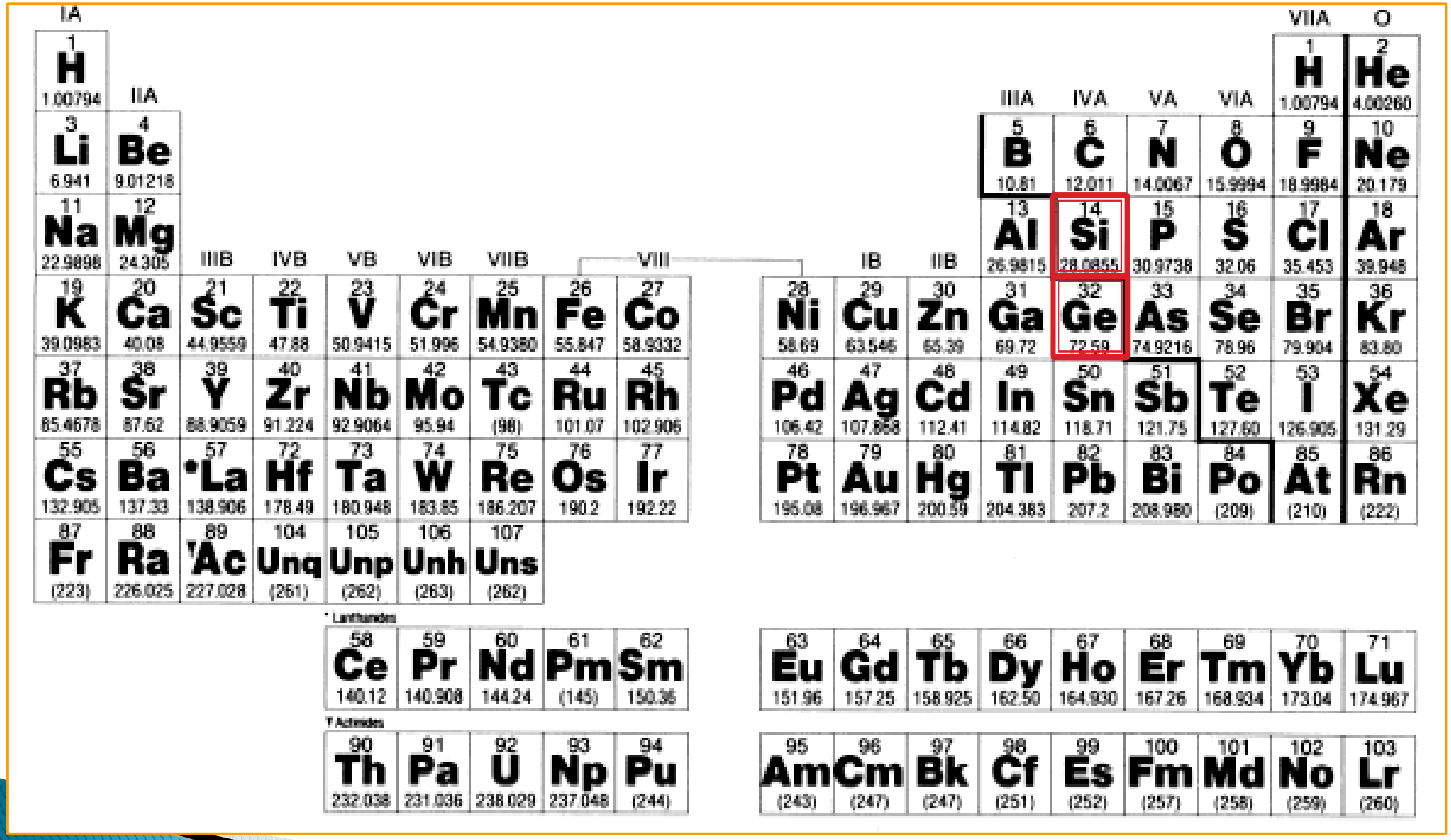
Dr. Nidal ZAIDAN

Semiconductors Theory



نظرية أنصاف النواقل

Semiconductors Theory



1) مقدمة:

تعتبر المواد النصف ناقلة حجر الزاوية في تصميم العناصر والأنظمة الإلكترونية والتي حلت محل الصمامات المفرغة للأسباب التالية:

- الحجم الصغير
- الوزن الخفيف
- البنية الصلبة
- الوثوقية العالية والعمر التشغيلي الطويل
- الاستهلاك المنخفض للاستطاعة

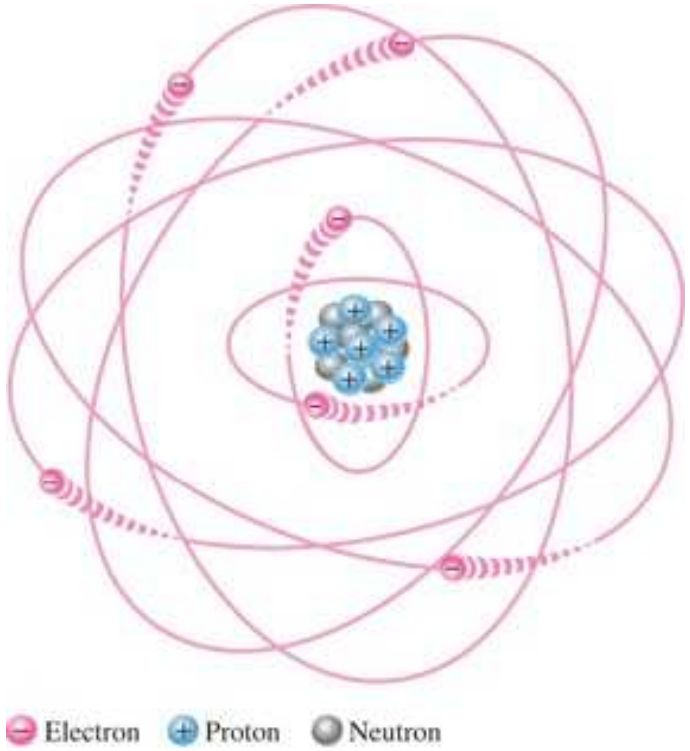
2) المواد نصف الناقلة:

تقسم العناصر في الطبيعة من وجهة نظر الناقلية الكهربائية إلى ثلاث مجموعات:

- النواقل المعدنية: تتراوح مقاومتها $(1.6 \rightarrow 150)\times 10^{-6}\,\Omega.Cm$
- العوازل: تتراوح مقاومتها $(10^{12} \rightarrow 10^{18})\Omega.Cm$
- أنصاف النواقل: تتراوح مقاومتها $(10^{-3} \rightarrow 10^{7})\Omega.Cm$

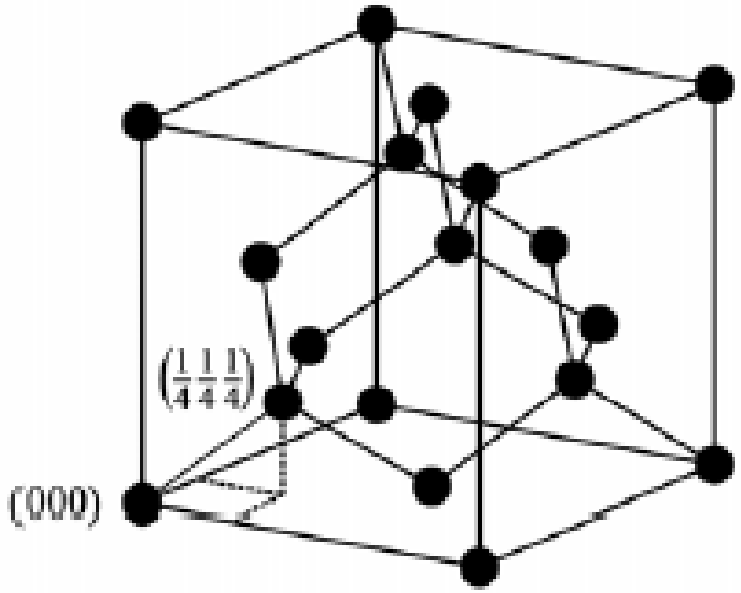
تلعب درجة الحرارة دوراً كبيراً في ناقلية **S.C.** حيث تزداد ناقليتها بزيادة درجة الحرارة

3) البنية البلورية للعناصر نصف الناقلة:

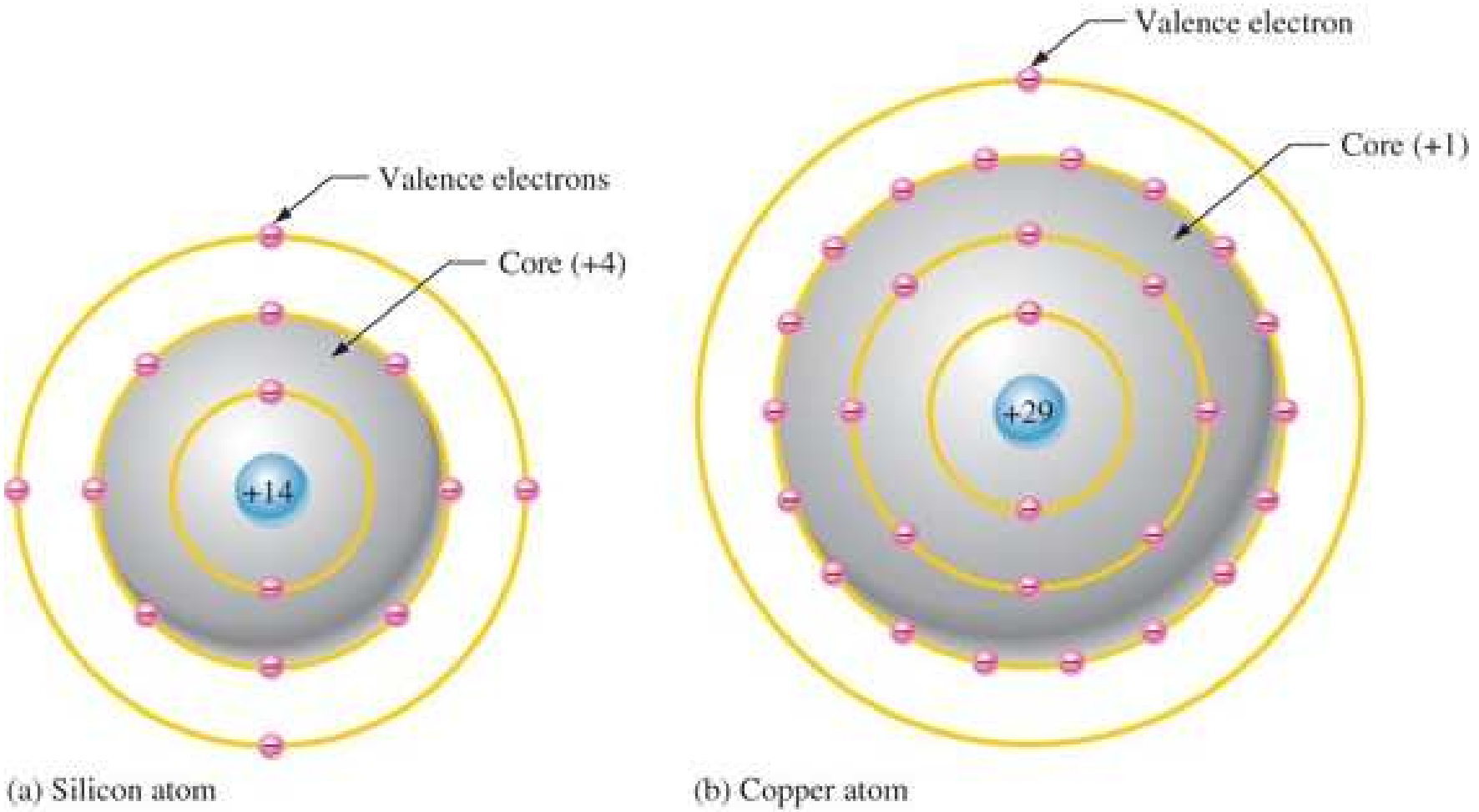


البنية الذرية للعناصر

$$N_e = 2n^2$$

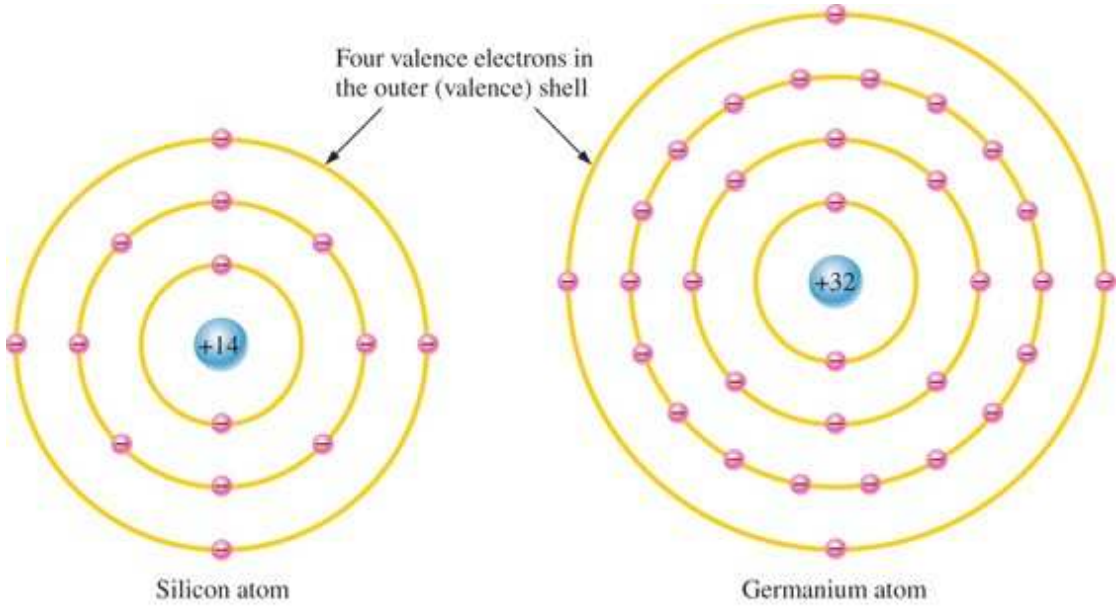


البنية البلورية للعناصر



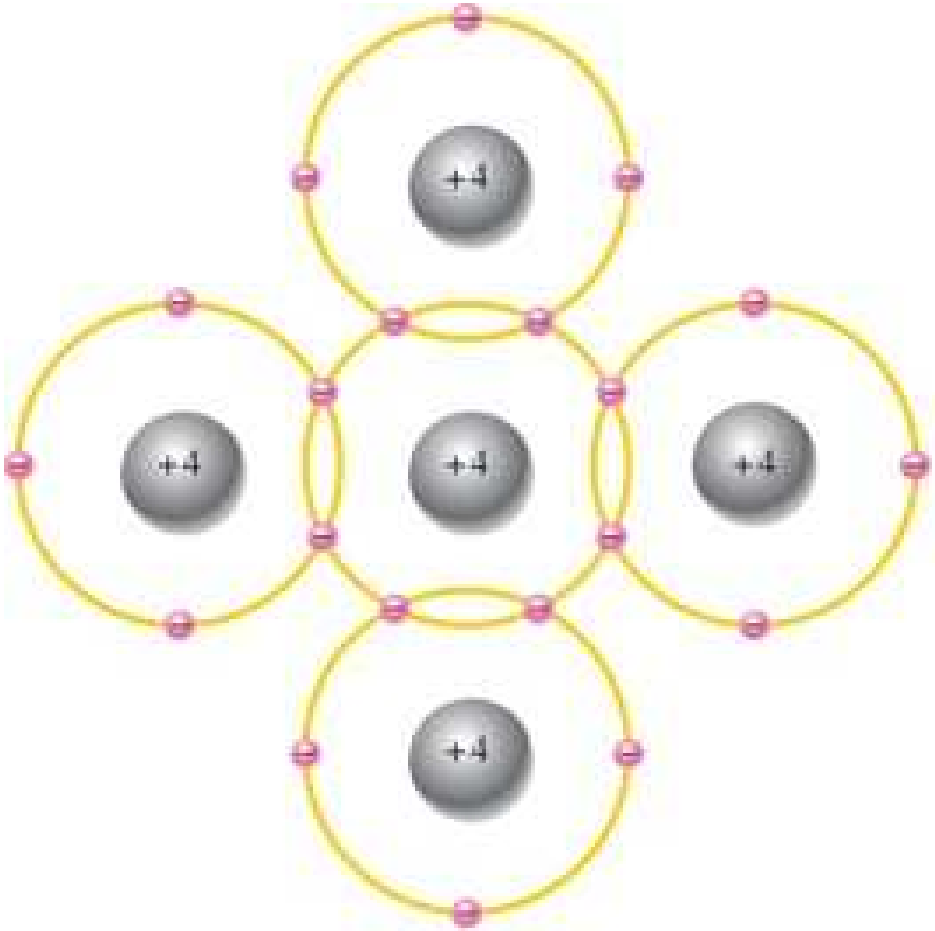
(a) Silicon atom

(b) Copper atom

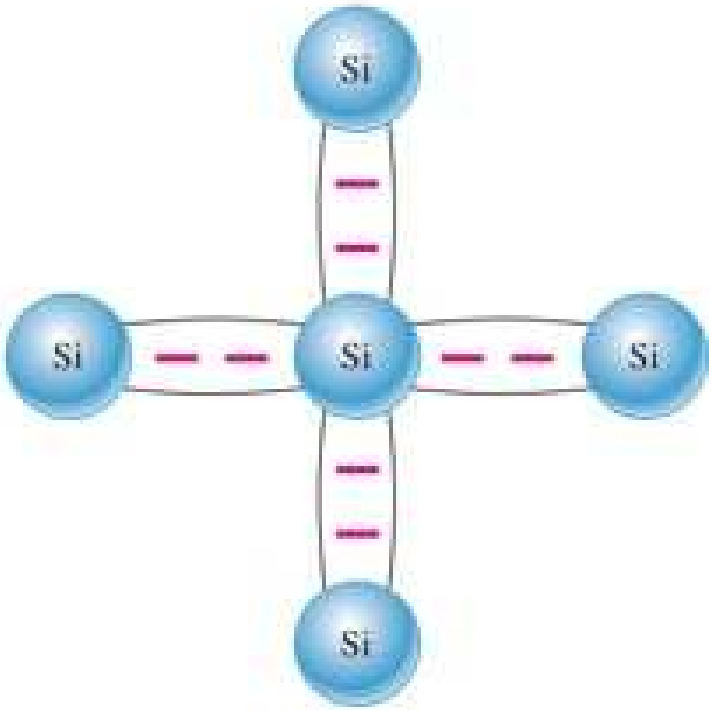


يعد السيلكون Si (Silcon) والجرمانيوم Ge (Germanium) من أشهر العناصر نصف الناقلة المُستخدَمة في تصنيع العناصر الإلكترونية وذلك يعود إلى:

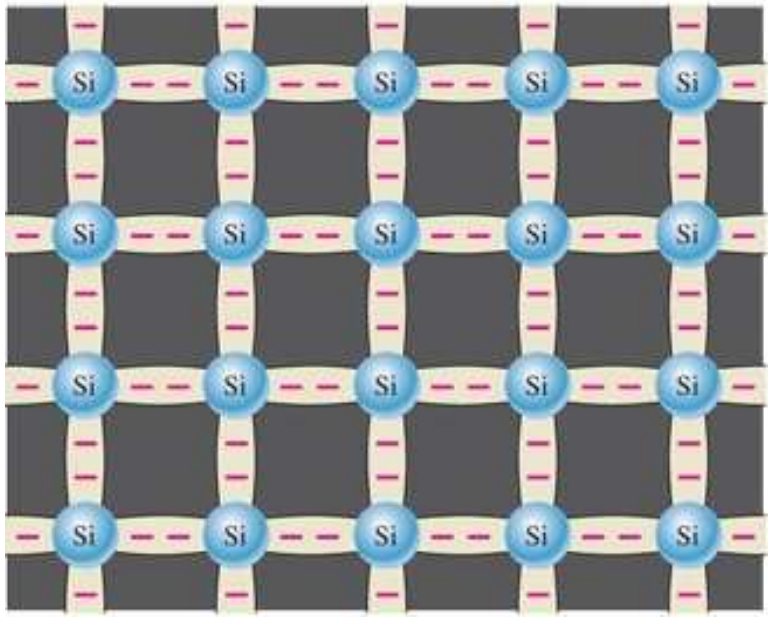
1. إمكانية الحصول على هاتين المادتين بنسبة نقاوة عالية
2. إمكانية تشكيل هاتين المادتين وفق بنية بلورية أُحادية خط التبلور Single–Crystal
3. إمكانية إشابة أو تطعيم Doping هاتين المادتين بحيث نتحكم بخصائصهما الكهربائية
4. التأثير الملحوظ للحرارة والضوء على خصائصهما.



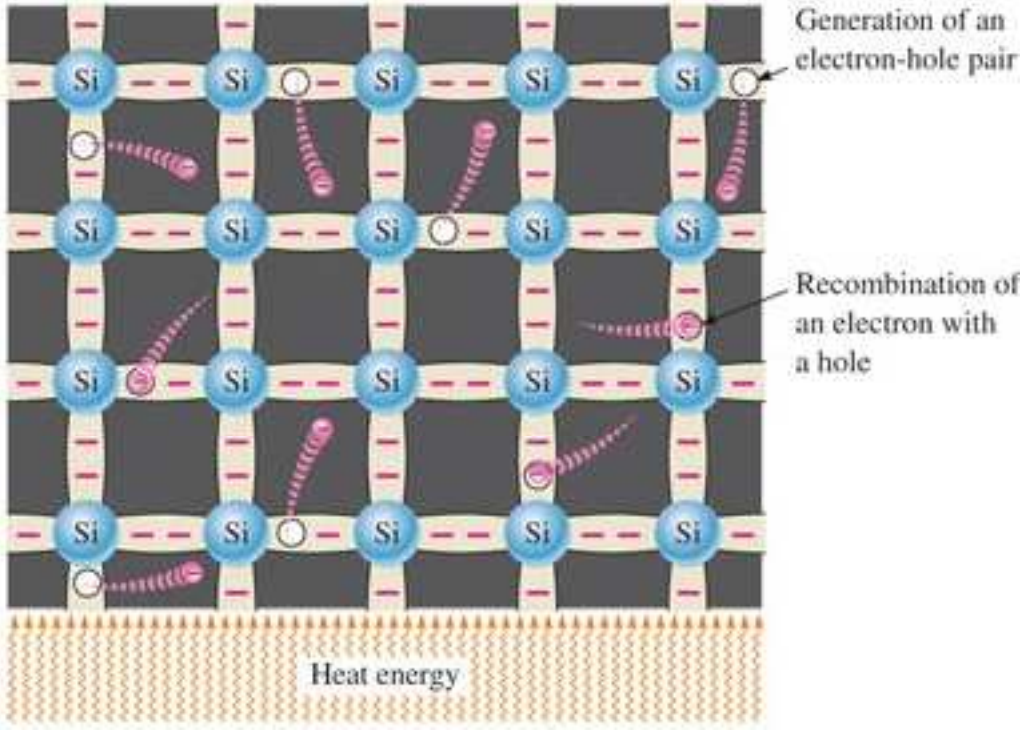
(a) The center silicon atom shares an electron with each of the four surrounding silicon atoms, creating a covalent bond with each. The surrounding atoms are in turn bonded to other atoms, and so on.



(b) Bonding diagram. The red negative signs represent the shared valence electrons.



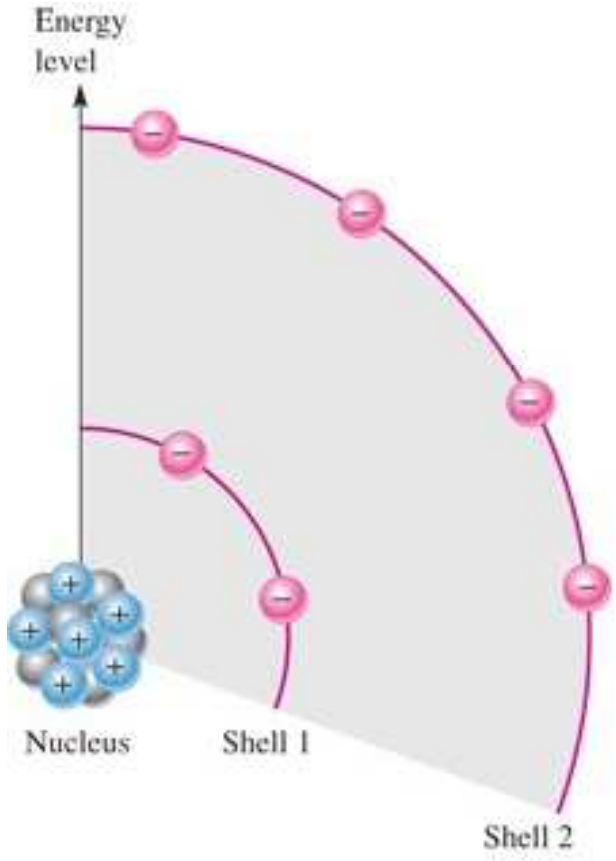
البنية البلورية للسيلكون النقي عند
درجة حرارة 0°K

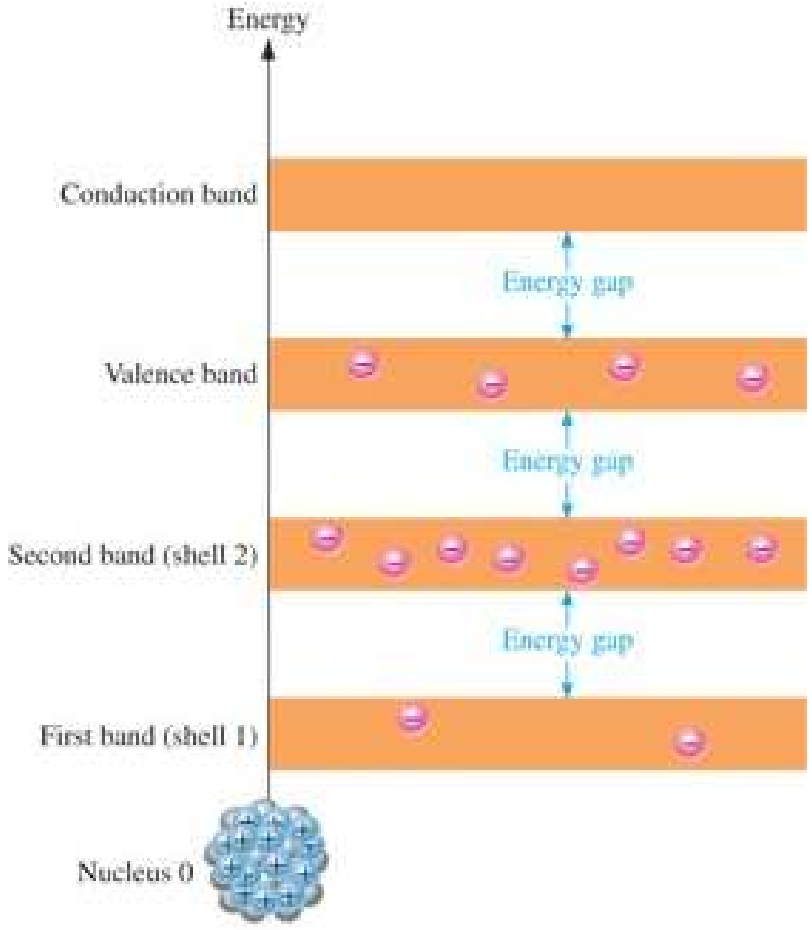


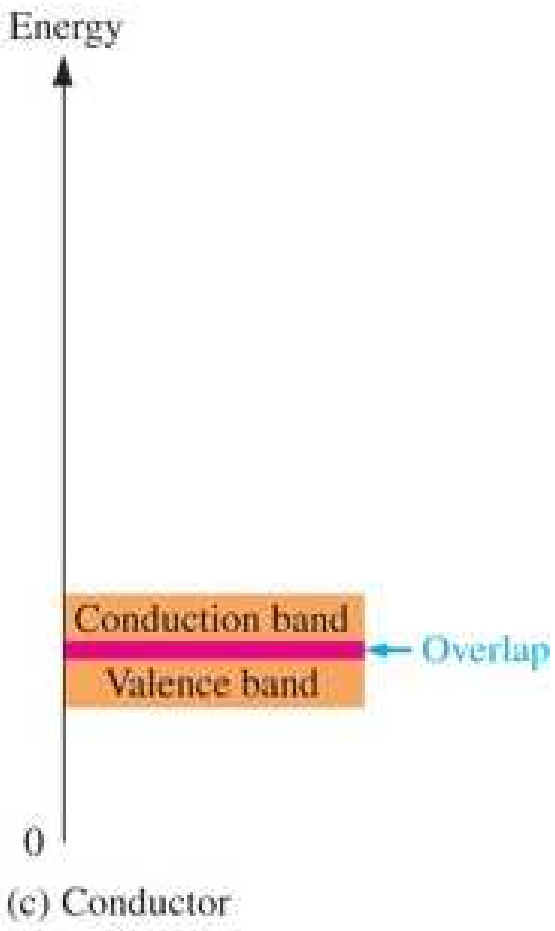
البنية البلورية للسيلكون النقي عند
درجة حرارة 0°K <

4) نظرية حزم الطاقة:

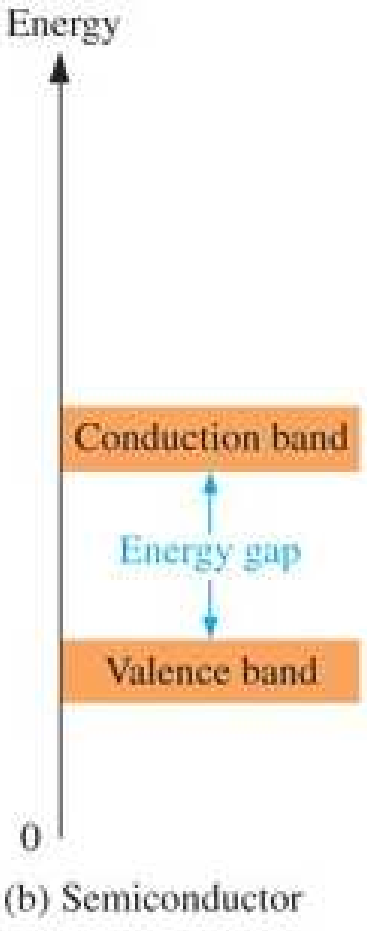
حزمة الطاقة: مجموعة من مستويات الطاقة المنفردة ولكن المتقاربة جداً فيما بينها



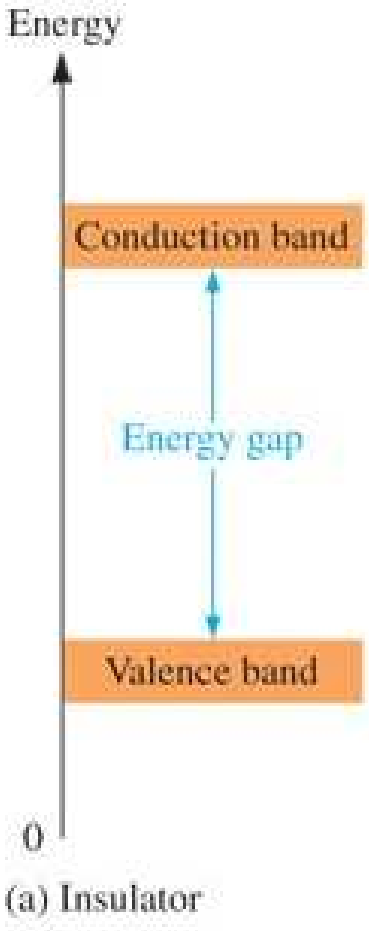




(c) Conductor



(b) Semiconductor



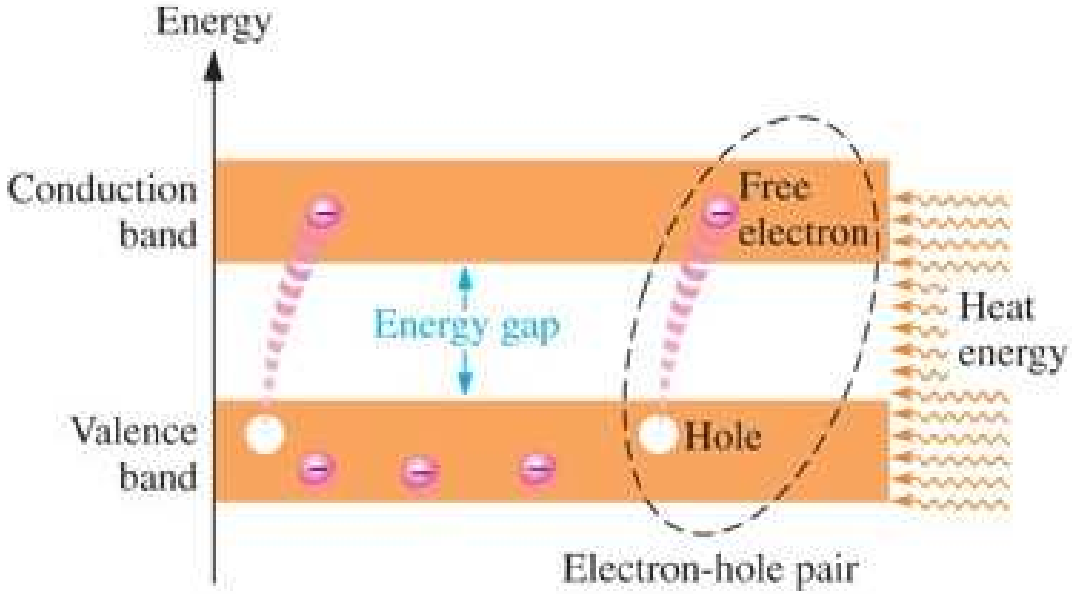
(a) Insulator

$$E_g(Si) = 1.1 \quad ev$$

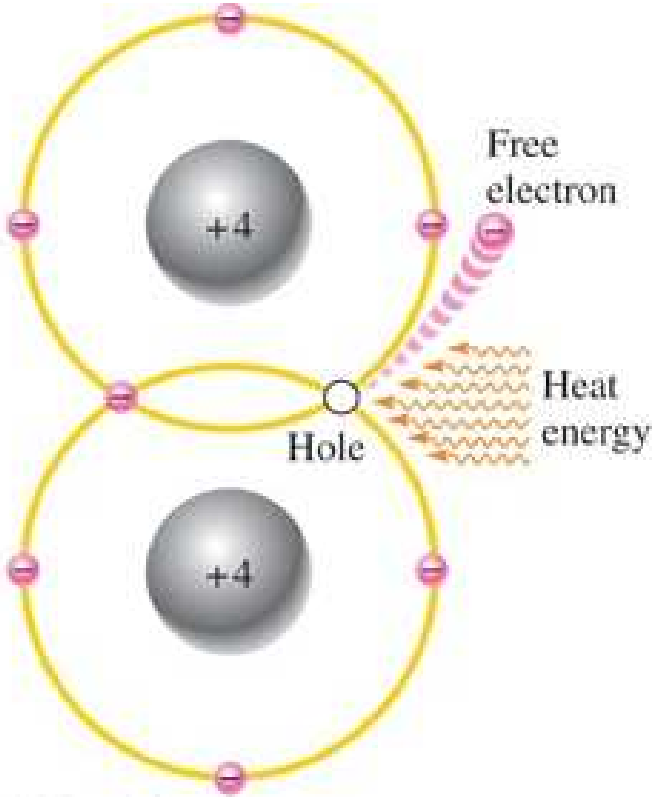
$$E_g(Ge) = 0.72 \quad ev$$

$$E_g(GeAs) = 1.41 \quad ev$$

$$E_g(Diamond) = 7 \quad ev$$

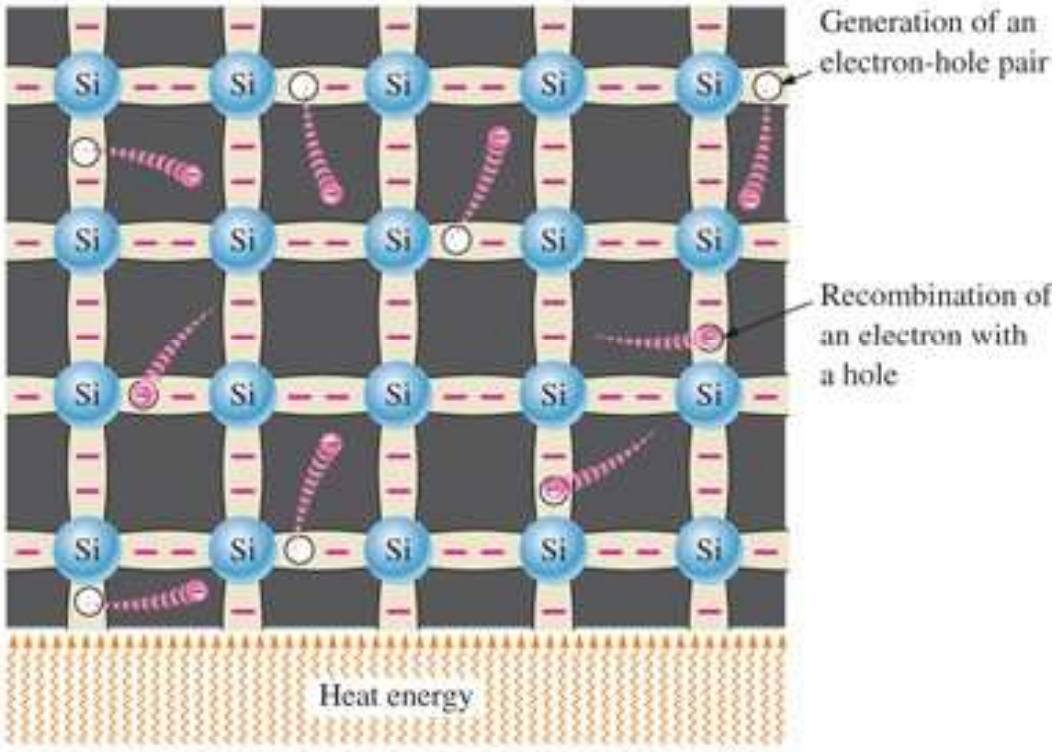


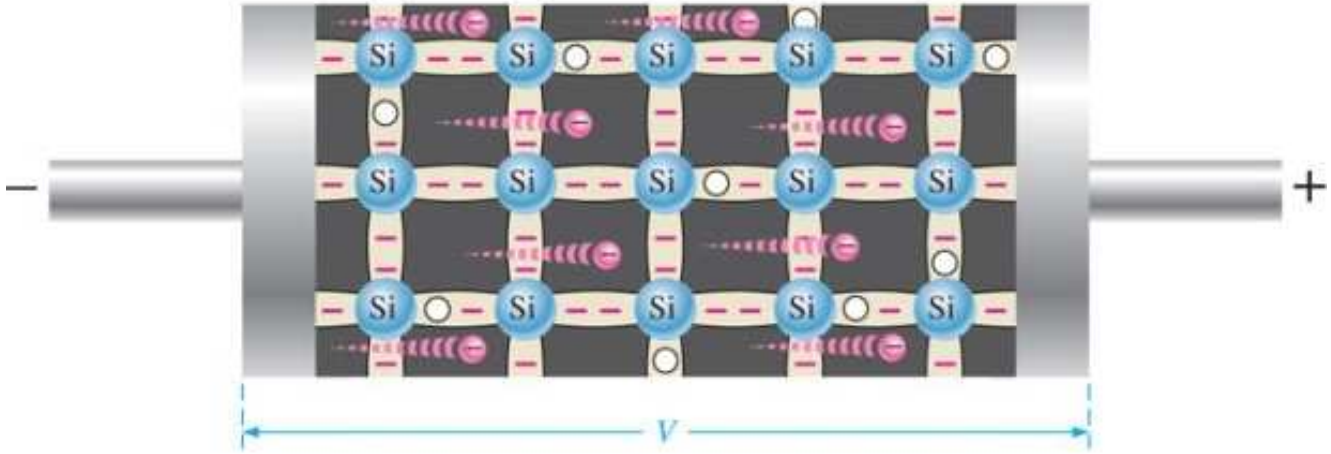
(a) Energy diagram



(b) Bonding diagram

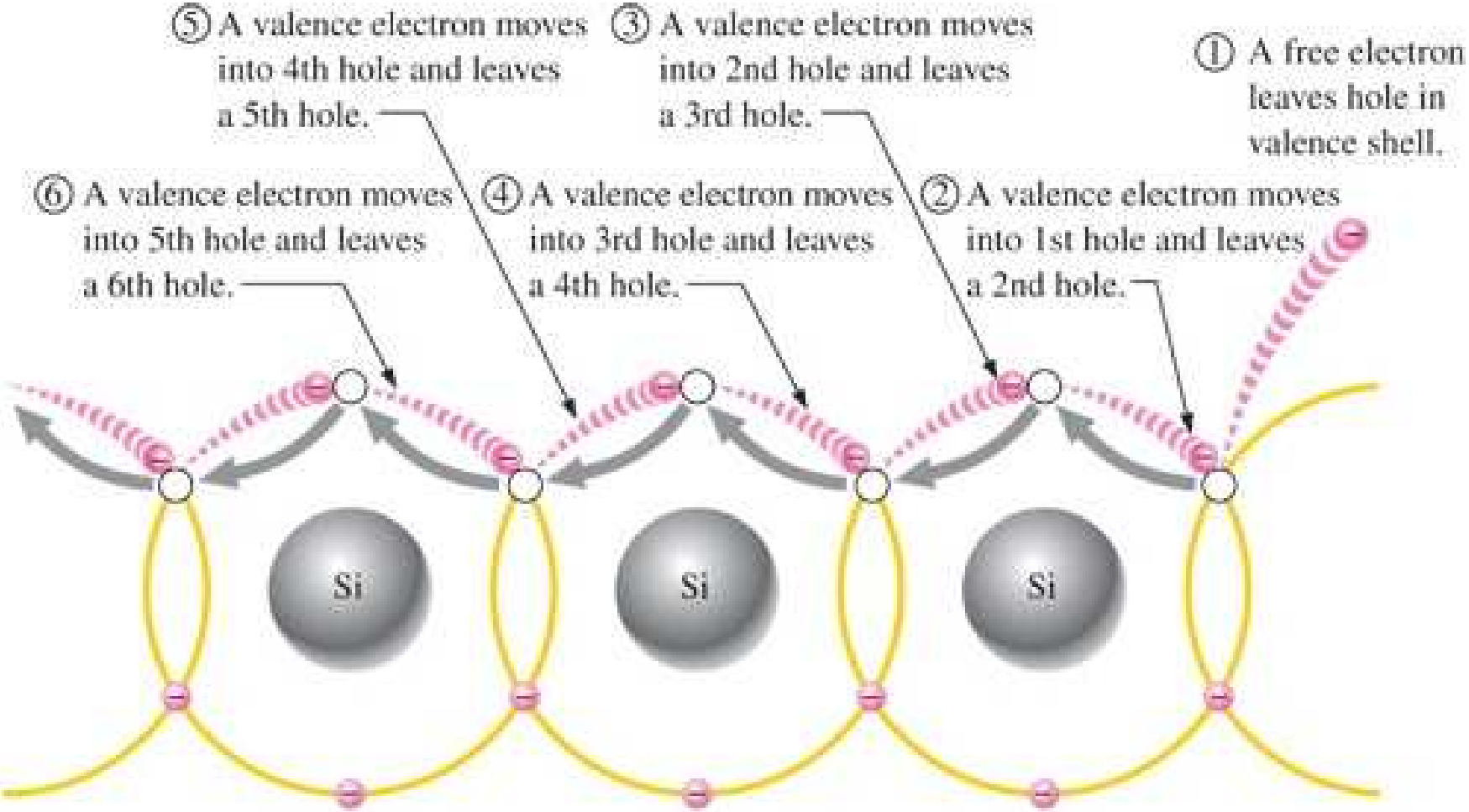
5) الثقوب والإلكترونات في نصف ناقل نقي :





في **نصف الناقل** النقي نميز مركبتين للتيار:

1. تيار الإلكترونات: ويعبر عن حركة الإلكترونات الحرة في حزمة النقل
2. تيار الثقوب: ويعبر حن حركة الإلكترونات في حزمة التكافؤ



When a valence electron moves left to right to fill a hole while leaving another hole behind, the hole has effectively moved from right to left. Gray arrows indicate effective movement of a hole.

6) حركية حوامل الشحنة :

نعرف حركية حوامل الشحنة بأنها السرعة المتوسطة لانتقال الشحنات تحت تأثير حقل كهربائي.

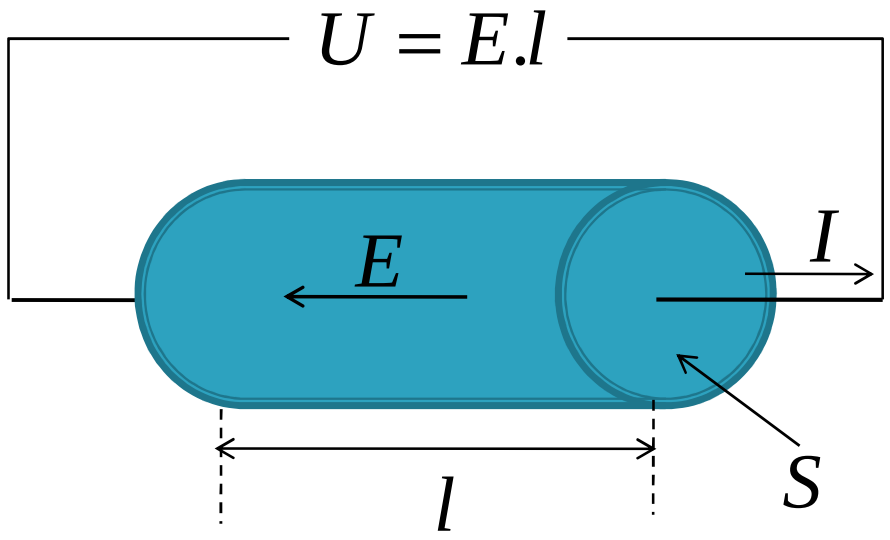
$$\vec{V} = \mu \vec{E} \Rightarrow \mu = \frac{\vec{V}}{\vec{E}} \ldots\ldots \left[\frac{Cm/S}{V/Cm}\right] \Rightarrow \mu \left[\frac{Cm^2}{V.S}\right]$$

تختلف حركية الثقوب μp عن حركية الإلكترونات μn في نصف الناقل المعتبر حيث
μn > μp
بالمقابل فإنَّ حركية حامل الشحنة يختلف من نصف ناقل إلى نصف ناقل آخر

$$\mu_n(Si) = 1800 \quad Cm^2/V.\sec \qquad \mu_p(Si) = 500 \quad Cm^2/V.\sec$$

$$\mu_n(Ge) = 3800 \quad Cm^2/V.\sec \qquad \mu_p(Ge) = 1300 \quad Cm^2/V.\sec$$

7) ناقلية نصف ناقل نقي :



$$I = n_t.e.V.S$$

$$U = E.l = I.R = n_t.e.V.S.\rho\frac{l}{S}$$

$$R = \rho\frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma.S}$$

$$U = R.I \Rightarrow E.l = n_t.e.v.S\frac{l}{\sigma.S} \Rightarrow \sigma = \frac{n_t.e.v}{E} = n_t.e.\mu$$

$$n_t\mu = n\mu n + p\mu p$$

$$\sigma = (n\mu n + p\mu p).e..... \left[\frac{1}{\Omega.m}\right]$$

المقاومة النوعية للجرمانيوم النقي (Intrinsic Resistivity) 45 Ω.cm

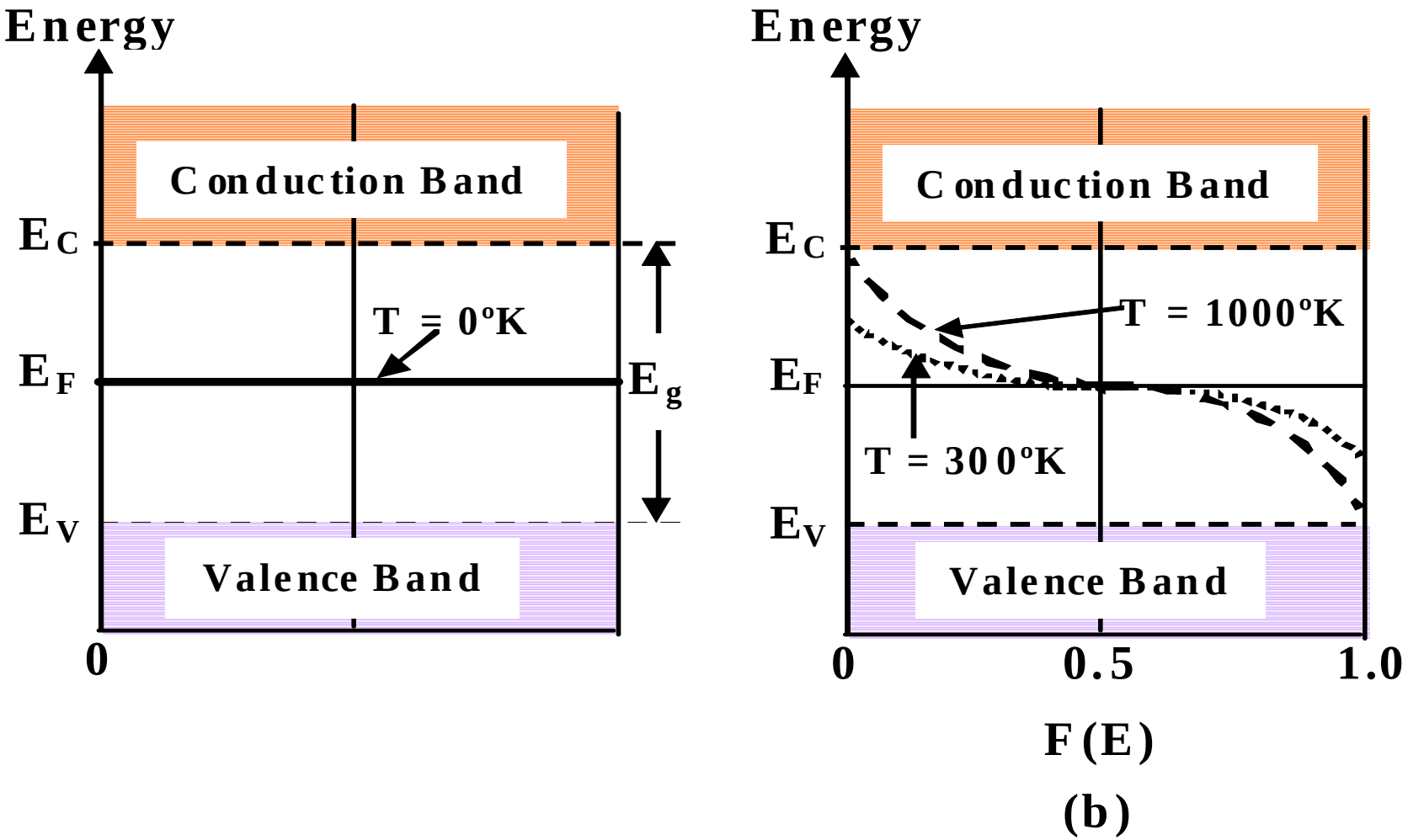
المقاومة النوعية للسيلكون النقي 230 kΩ.cm

8) تابع فيرمي ومستوى فيرمي:

تابع فيرمي F(E): احتمال انشغال مستوى من الطاقة بإلكترون ويعطى بالعلاقة:

$$F(E) = \frac{1}{1 + e^{(E - E_F)/KT}}$$

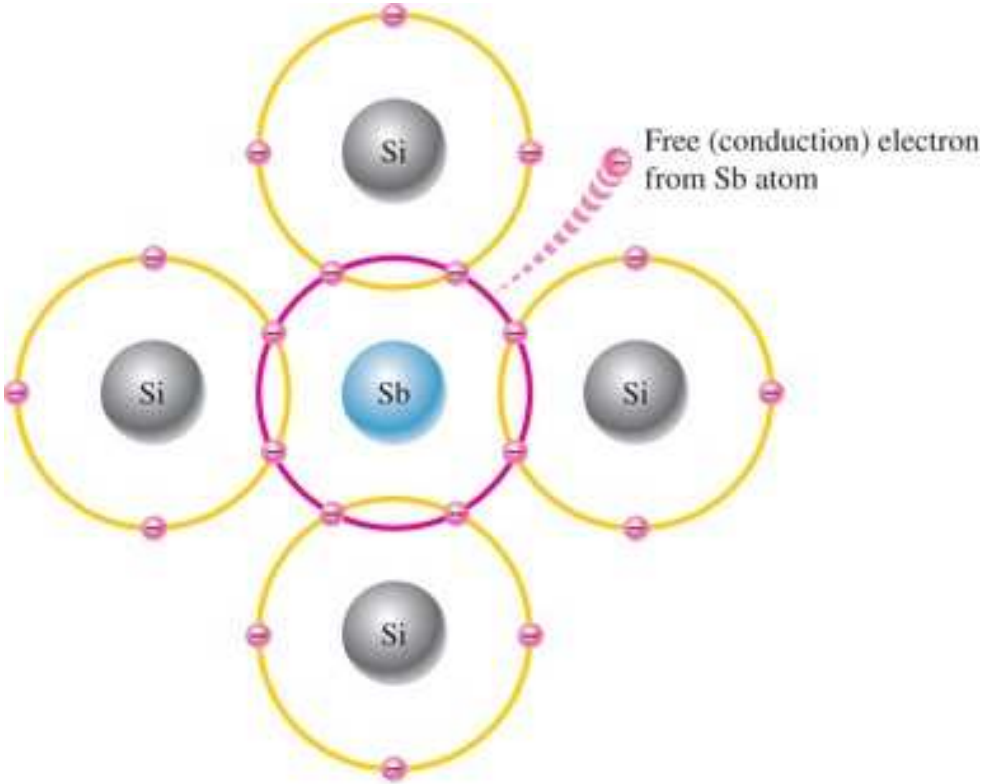
مستوى فيرمي E_F: مستوى مميز للمادة الكريستالية بـ (ev)، ويمثل حالة الطاقة باحتمال مقداره 50% أن يكون مملوءة في حالة عدم وجود الثغرة الطاقية

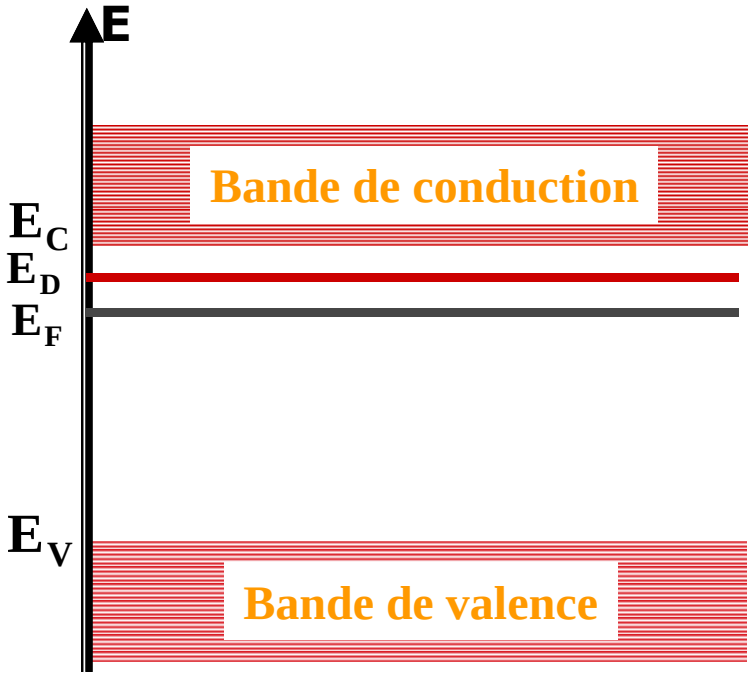

Energy
Conduction Band
E_C
T = 0°K
E_F
E_g
E_V
Valence Band
0
Energy
Conduction Band
E_C
T = 1000°K
E_F
T = 300°K
E_V
Valence Band
0
0.5
1.0
F(E)

(b)

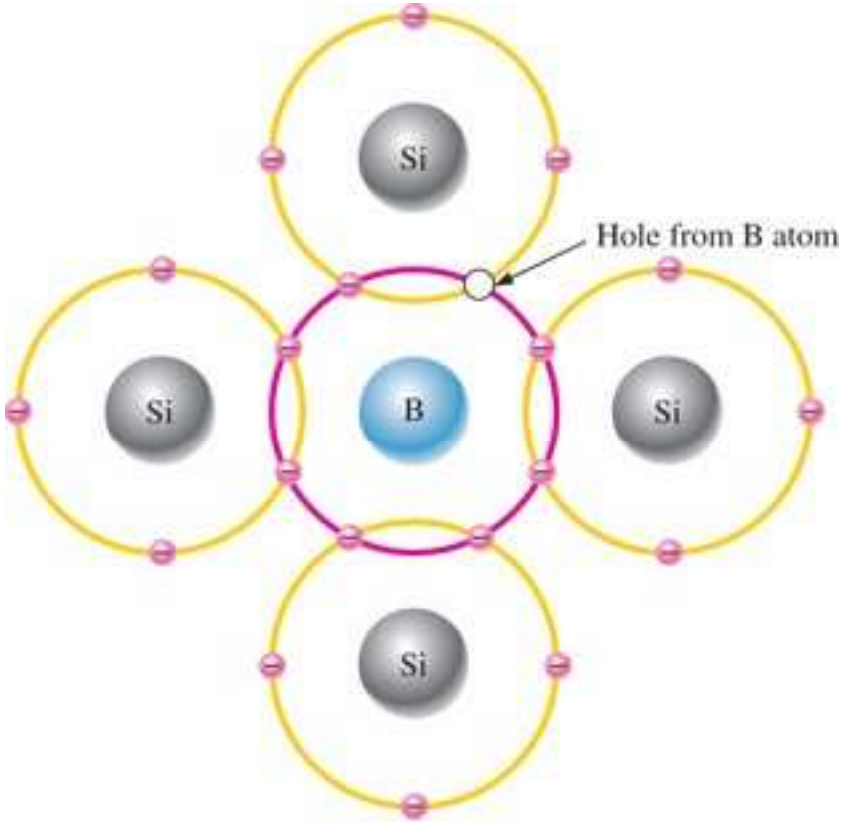
9) إشابة نصف الناقل النقي:

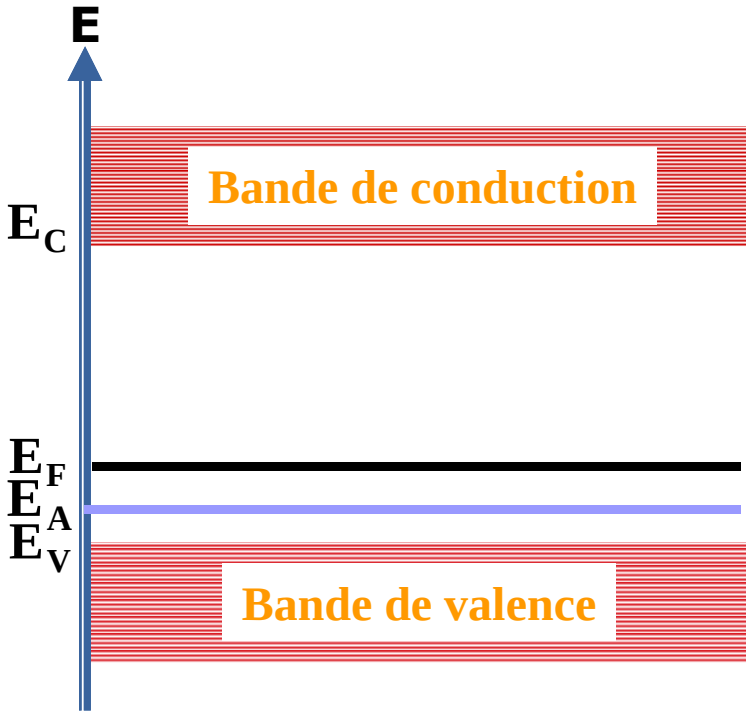
9.1) الإشابة من النوع n-type





9.2) الإشابة من النوع p-type





10) الانتشار:

انتقال الشحنات من المناطق ذات التركيز العالي إلى المناطق ذات التركيز المنخفض

11) زمن بقاء الشحنات:

زمن بقاء الشحنة هو الزمن الفاصل بين توالد الشحنة وإعادة اندماجها

زمن بقاء الإلكترون τ_n

زمن بقاء الثقب τ_p

ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: Semiconductors

STACK:

(2)
/Title
()
/Subject
(D:20171003183936+03’00’)
/ModDate
()
/Keywords
(PDFCreator Version 0.9.5)
/Creator
(D:20171003183936+03’00’)
/CreationDate
(Nawar)
/Author
-mark-