

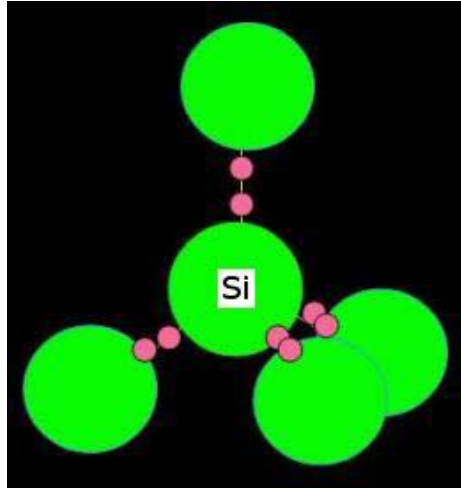
## تتميز أشباه الموصلات النقية بما يلي :

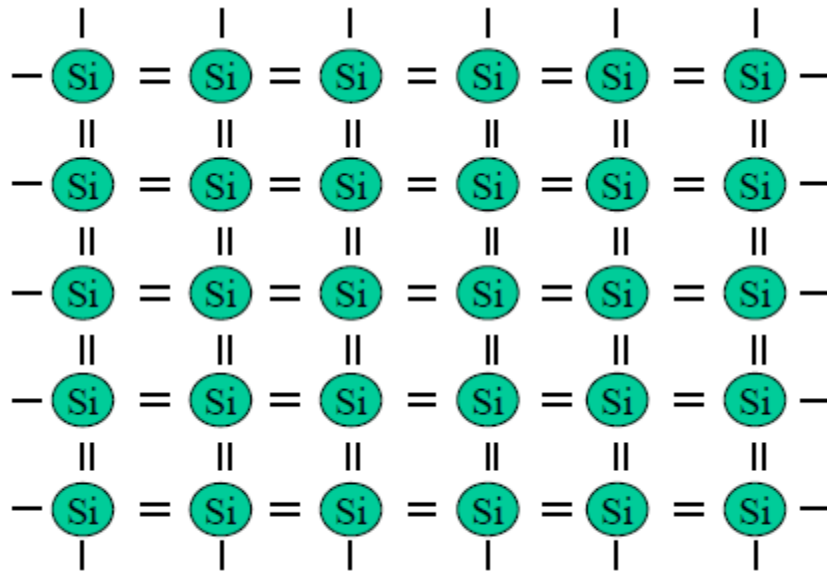
- 1 - تكون عازله تماماً عند درجة صفر كالفن لشدة ارتباط الإلكترونات بذراتها.
- 2- عند رفع درجة حرارتها تصبح الطاقة الحرارية كافية لكسر بعض الروابط بين الذرات فتتحرك بعض الإلكترونات تاركة مكانها فجوة وبذلك تصبح البلورة موصلة للكهرباء عن طريق الفجوات التي تتحرك عكس الإلكترونات.

## التوصيلية الكهربائية الذاتية لأشباه الموصلات النقية

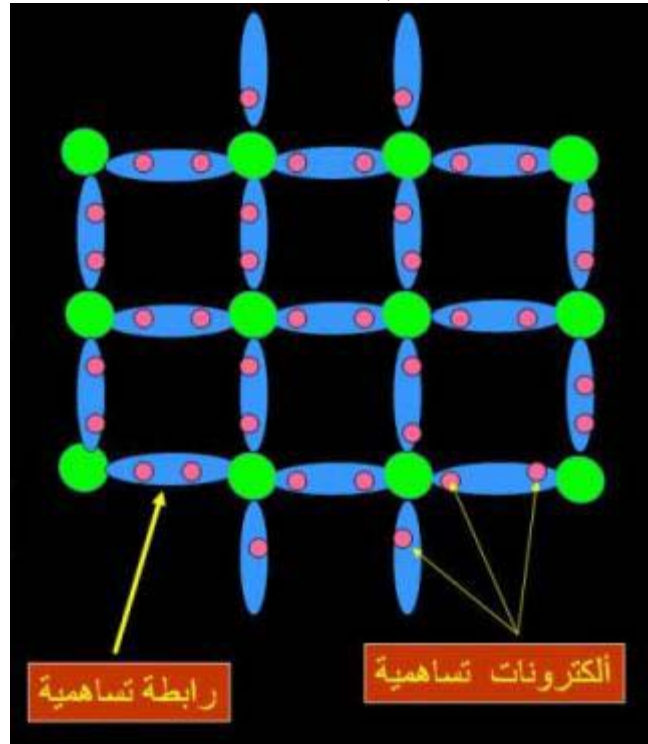
وتكمن أهمية الفجوة في أنه يمكن اعتبارها ناقلة للتيار الكهربائي مثل الإلكترون ، ولإيضاح ذلك فإننا نتخيل ما يحدث وهو أن إلكترونات في ذرة مجاورة يمكن أن يتحرك ليملا تلك الفجوة خلفا وراءه فجوة أخرى ليتحرك إلكترون في ذرة مجاورة أخرى أيضاً لملأ تلك الفجوة ، وهكذا يمكننا أن نعتبر نظرياً أن الفجوة تتحرك بعكس اتجاه حركة الإلكترون ، وعلى ذلك يمكن اعتبار الفجوة تمثل شحنة موجبة مقدارها يساوي مقدار شحنة الإلكترون وتتحرك في اتجاه معاكس لحركة الإلكترون

عند الصفر المطلق  $0^{\circ}\text{K}$  ، تكون الإلكترونات في اوطا مستوى من الطاقة وعليه تكون الاواصر التساهمية ممتلئة وعندما يؤثر مجال كهربائي خارجي صغير فان الإلكترونات لن تتحرك ولذلك فان السليكون (شبه الموصل ) يعتبر عازلاً.



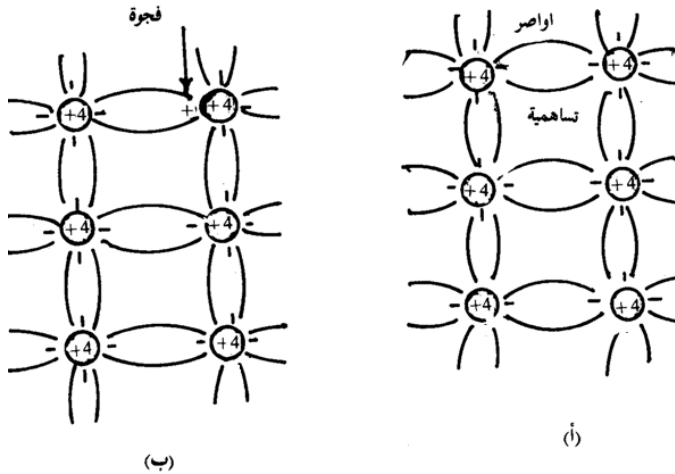


ومن أشهر المواد شبه الموصلة (عناصر المجموعة الرابعة) في الجدول الدوري (الجرمانيوم 32 Ge) و (السيلكون 14 Si)، حيث أن كل منهما رباعي التكافؤ، فتتحد كل ذرة من ذرات الجرمانيوم مع أربع ذرات جرمانيوم مجاورة بروابط تساهمية بحيث تصبح أي ذرة محاطة بثمانية إلكترونات كما بالشكل التالي لتكوين بلورة جرمانيوم نقيه، (وبالمثل ذرات السيلكون).



تمتلك عناصر المجموعة الرابعة group IV من الجدول الدوري ، اربعة  
 الكترونات تكافؤية وتدعى البلورات التي تكون من ضمنها مواد البلورات التساهمية  
 وتنشأ قوى التماسك في البلورات التساهمية من وجود الكترونات مشتركة بين الذرات  
 المتجاورة فكل ذرة مشتركة باصرة تساهمية مع جاريتها تساهم بالكترون واحد في الاصرة  
 ويكون الالكترونان مشتركين بين الذرتين بدلا من ان يكون كل منهما ملكية خاصة  
 لاحد الذرتين كما في حالة الاواصر الايونية ويبين الشكل أدناه تركيب احد هذه البلورات  
 في درجة الصفر المطلق وقد رسمت ذراتها في بعدين وبصورة رمزية حسب انموذج بور

الان اذا ما تم تسليط جهد كهربائي على هذه البلورة او تعرضت لاشعاع بطاقة  
 كافية او تم اكسابها طاقة حرارية فان الطاقة المكتسبة هذه سوف تعمل على كسر الروابط  
 التساهمية ونقل الالكترون الى حزمة التوصيل ليشترك في عملية التوصيل الكهربائي .  
 ان الطاقة اللازمة والكافية لفك الروابط التساهمية يجب ان تكون مساوية لفجوة الطاقة



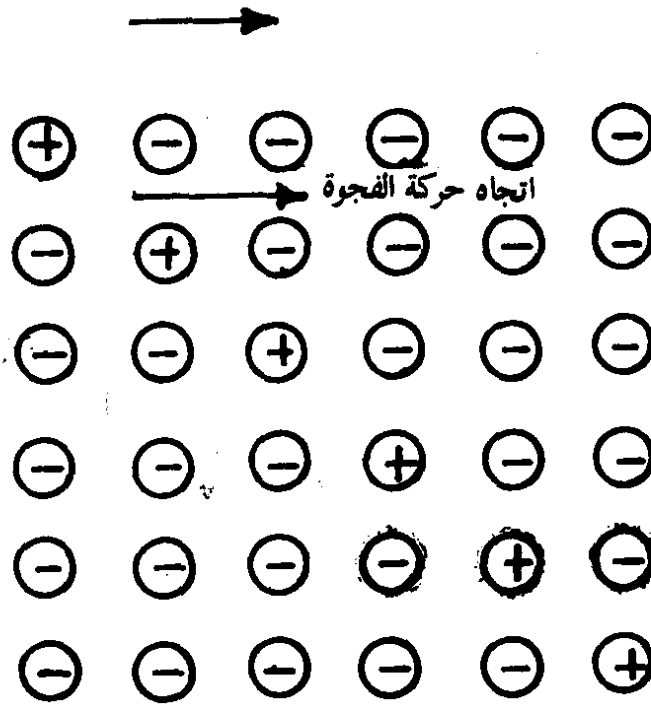
$E_g$  او اكبر . تكون  $E_g$  مساوية لـ 0.72 اليكترون فولت بالنسبة لبلورة الجرمانيوم (Ge) و 1.1 اليكترون فولت بالنسبة لبلورة السيلكون (Si) . هذا ويعد هذان العنصران من اهم عناصر المجموعة الرابعة المستعملة في الصناعات الالكترونية ولعنصر السيلكون (14) الكترونا في تركيبه الذري تتوزع على الصورة 2 و 8 و 4 الكترونات بينما يمتلك عنصر الجرمانيوم (32) الكترونا تكون موزعة على الصورة 2 و 8 و 18 و 4 الكترونات

على اية حال ، ان انتقال الالكترون من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل سوف يخلف وراءه مكانا خاليا في الاصرة التساهمية - انظر الشكل أعلاه او ما يدعى بالفجوة hole . الذرة الان اصبحت ايونا ion وتظهر الفجوة كشحنة موجبة ثابتة ( $+e$ ) مع كتلة فعالة  $m_h$  ولا تكون مساوية لكتلة الالكترون . هذا الفرق في الكتلتين يظهر على شكل حركة بطيئة لحاملات الشحنة الموجبة هذه استجابة للمجالات الكهربائية المسالطة مقارنة مع حركة الالكترونات تحت نفس الظروف .

تعرف الفجوة بانها مكان مستعد لاستقبال الكترون وبهذا فانها سرعان ماتملاً بالالكترون المجاور الذي يعمل بفعل وجود مجال كهربائي ، على كسر الاواصر التي تربطه بالذرة مولداً بذلك فجوة ثانية يتم ملاءها ايضا بالكترون آخروهكذا تستمر العملية مؤدية

بذلك الى حركة الشحنات - انظر الشكل أدناه - ومولدة بذلك تياراً يدعى بتيسار الفجوات hole current

ان عملية توليد هذه الازواج من الالكترتون - فجوة electron-hole pairs سوف تستمر وعند التوازن الحراري thermal equilibrium يكون عدد الفجوات المتخلفة مساويا لعدد الالكترونات المنتقلة وتعد الطاقة الحرارية اكثر المصادر توليداً لهذه الازواج وتدعى عملية التوصيل الناتجة عن حركة حاملات الشحنة هذه ( الفجوات والالكترونات ) بعملية التوصيل الذاتي intrinsic conduction



حركة الفجوة في شبه الموصل

عند تسليط مجال كهربائي خارجي فان الطاقة المكتسبة من قبل هذه الحاملات سوف تضاف الى طاقتها الحرارية ، وبذلك تعمل على تعجيلها واكسابها سرعة تصل بعد فترة معينة ، كما ذكرنا ، الى قيمة ثابتة تدعى بسرعة الانسياب velocity drift بحيث ان

$$\begin{aligned} v_h &= \mu_h E \\ v_e &= \mu_e E \end{aligned} \quad 1$$

حيث تشير h الى الفجوات hole و e الى الالكترونات وتكون  $v_e$  معاكسة لاتجاه  $v_h$  واكبر منها الا ان التيار الناتج عنهما يكون في نفس الاتجاه .

معروف لدينا ان

$$\Delta I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad 2$$

كذلك هو معروف ان

$$\Delta Q = \rho \Delta V \quad 3$$

حيث تمثل  $\rho$  الكثافة الحجمية للشحنة و  $\Delta V$  عنصراً حيمياً . عند التعويض عن  $\Delta Q$  اعلاه في المعادلة نحصل على

$$\Delta I = \rho \Delta s \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad 4$$

اوان

$$J = \frac{\Delta I}{\Delta s} = \rho v \quad \dots 5$$

حيث تمثل  $J$  كثافة التيار السطحية  
بالنسبة لانصاف الموصلات لدينا

$$J_e = \rho_e v_e = ne v_e \quad \dots 6$$

وكذلك

$$J_h = \rho_h v_h = pe v_h \quad 7$$

حيث تمثل  $n$  و  $p$  كثافة الالكترونات والفجوات المتولدة وعلى التوالي

$$J = J_e + J_h = ne v_e + pe v_h \quad \dots 8$$

وعند التعويض عن قيمة  $v_e$  و  $v_h$  نحصل على :

$$J = + ne \mu_e E + pe \mu_h E \quad \dots 9$$

في انصاف الموصلات النقية تكون كثافة الالكترونات  $n$  في حزمة التوصيل مساوية  
لكثافة الثقوب  $p$  التي خلفتها تلك الالكترونات في حزمة التكافؤ، اي ان  $n_i = p = n$   
حيث يشير الحرف (i) الى شبه الموصل النقي intrinsic . وعليه فأن

$$J = n_i (\mu_e + \mu_h) e E \quad \dots 10$$

العلاقة بين  $E$  و  $J$  يمكن ايضا تحديدها بوساطة التوصيلية  $\sigma$  من خلال

$$J = \sigma E$$

... 11

وعليه فان

$$\sigma = (\mu_e + \mu_h) n_i e$$

... 12

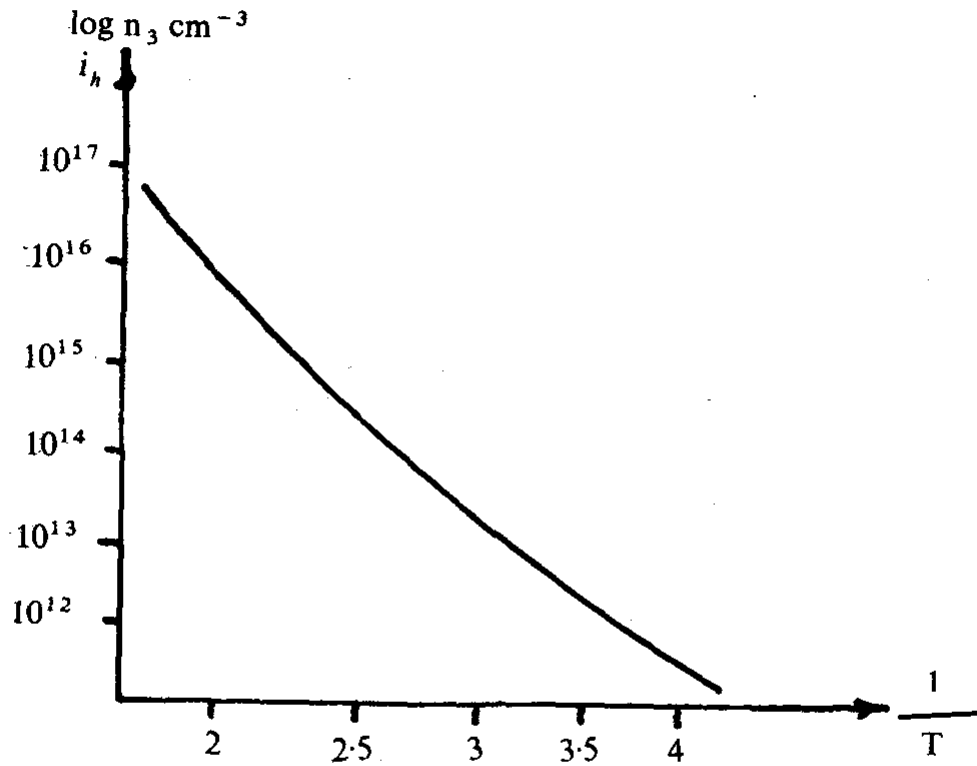
بالنسبة للجermanيوم النقي او الذاتي ، فان حركتي الالكترن والفجوة هما 0.36 و 0.17 بالترتيب بينما للسيلكون فالحركتين هما بالترتيب 0.12 و 0.025 . وهذه القيم معطاة بالمترا المربع لكل فولت - ثانية وتتراوح بين 10 الى 100 مرة أكبر من تلك للالمنيوم والنحاس والفضة والموصلات المعدنية الاخرى عند نفس الدرجة الحرارية 300°k . من جهة اخرى ، في المعادن هنالك في المتوسط الكترن حرمقابل كل ذرة وبما ان كثافة الذرات في المعادن هي  $10^{28}$  بالمترا المكعب الواحد لذا فانه يوجد فسي المتوسط  $10^{28}$  الكترن حرفي المتر المكعب الواحد . في اشباه الموصلات مثل الجومانيوم والسيلكون هناك الكترن حرمقابل  $10^8$  ذرة وعليه فاننا نتوقع ان تكون التوصيلية للسيلكون  $10^8$  مرة اقل من النحاس الا ان كون الحركية في السيلكون ، انظر اعلاه ، هي اكبر مائة مرة مما هي في النحاس لذا فاننا نتوقع ان التوصيلية في اشباه الموصلات تكون حوالي مليون مرة اقل من المعادن عند درجات الحرارة الاعتيادية وهذا ما هو حاصل فعلا

ومن الجدير بالذكر ان  $n_i$  تتغير مع درجة الحرارة بصورة اسية حيث ان

$$n_i^2 \propto T^3 e^{-E_g/KT}$$



وعليه فان  $n_i$  تزداد بشكل كبير وسريع مع الازدياد في درجة الحرارة وبين الشكل أدناه تغير  $n$  مع  $\frac{1}{T}$



تغير كثافة الالكترونات الحرة في اشباه الموصلات مع درجة الحرارة

هذا وقد وجد ان التوصلية تزداد في الجرمانيوم بنسبة 6 بالمائة تقريبا كلما ازدادت درجة الحرارة درجة واحدة اما في السيلكون فتبلغ الزيادة 8 بالمائة تقريبا وعليه فان الحرارة الزائدة قد تعرقل عمل اشباه الموصلات في بعض الدوائر الالكترونية .