الفصل الرابع

أنصاف النواقل من النوع -n والنوع -p

أنصاف النواقل من النوع -n والنوع -p

4.1 أنصاف النواقل من النوع -n والنوع -p أنصاف النواقل من النوع -1 والنوع -4.2 لأنصاف الناقلية الكهربائية لأنصاف النواقل المشوبة 4.3 الديود (المتصل الثنائي)

p- والنوع n- والنوع من النوع n- والنوع p- أنصاف النواقل من النوع n- أنصاف النواقل من النوع n- الإشابة

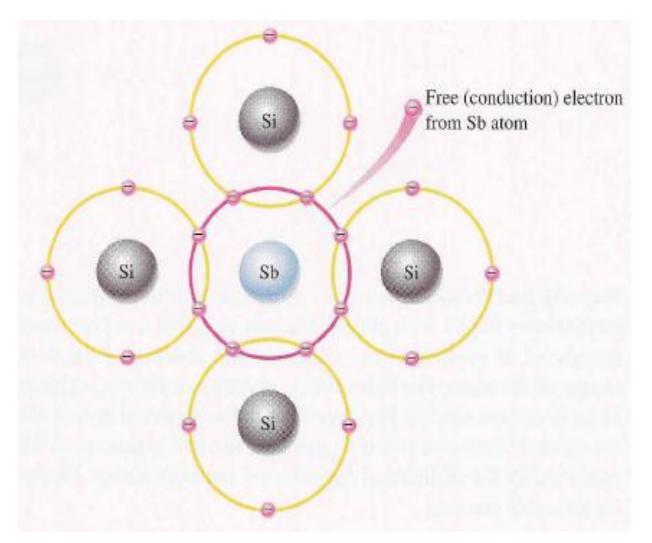
n- حاملات الشحنة الأكثرية والأقلية في نصف الناقل من النوع n- سويات المانحات في نصف الناقل من النوع p- أنصاف النواقل من النوع p- مالات الشحنة الأكثرية والأقلية في نصف الناقل من النوع p- سويات الآخذات في نصف الناقل من النوع p- سويات الآخذات في نصف الناقل من النوع

p- والنوع n- والنوع 4.1 أنصاف النواقل من النوع n- والنوع أنصاف النواقل من النوع n- أنصاف النواقل من النوع n- الاثبادة

إن ناقلية السيلكون والجرمانيوم يمكن أن تزداد بشكل حاد جداً وذلك بإضافة شوائب إلى مادة نصف الناقل النقي. وتدعى هذه العملية بالإشابة أو التطعيم حيث تزيد عدد حاملات التيار (إلكترونات أو ثقوب).

وكما هو موضح بالشكل (4.1)، فكل ذرة خماسية التكافؤ (مثل الأنتموان Sb) تشكل روابط مشتركة مع أربع ذرات سيلكون مجاورة، حيث أربع إلكترونات تكافؤ من ذرة الأنتموان تشكل روابط مشتركة مع ذرات السيلكون، ويبقى إلكترون إضافي.

هذا الإلكترون الإضافي يصبح إلكترون ناقلية لأنه غير مقيد بأية ذرة، وبما أن الذرة خماسية التكافؤ تمنح إلكتروناً فتدعى بالذرة المانحة.



الشكل (4.1) ذرة شائبة خماسية التكافؤ في بنية بلورة السيلكون. حيث ذرة الأنتموان (Sb) الذرة الشائبة في المركز، والالكترون الإضافي من ذرة الأنتموان يصبح الكتروناً حراً. 5 Dr.Sadek pro

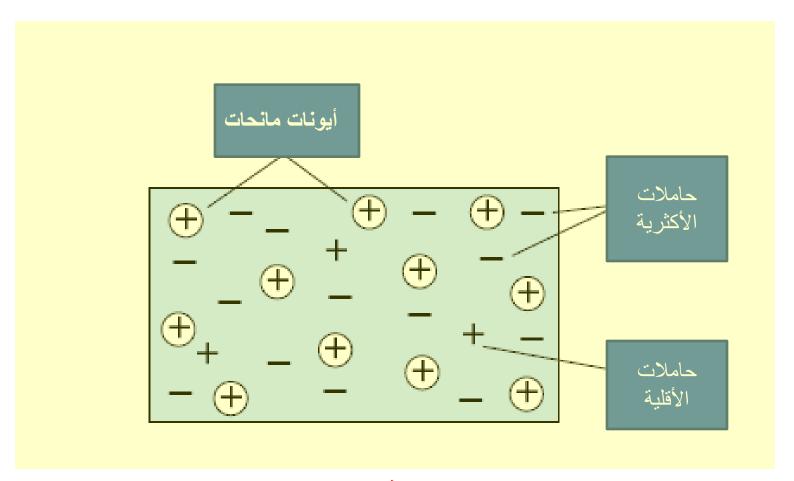
n- حاملات الشحنة الأكثرية والأقلية في نصف الناقل من النوع

بما أن معظم حاملات التيار هي الإلكترونات، فالسيلكون المشوب بذرات خماسية التكافؤ يشكل نصف ناقل من النوع n- الشحنة السالبة للإلكترون).

فالإلكترونات تدعى حاملات الأكثرية في نصف الناقل من النوع -n.

وكذلك الإلكترونات هي حاملات التيار الأكثرية في نصف الناقل من النوع -n، وبالإضافة لذلك يوجد عدد قليل من الثقوب تتولد بالإثارة الحرارية.

وتشكل الثقوب حاملات أقلية في مادة نصف الناقل من النوع n.



نصف الناقل من النوع -n

الشكل (4.2)

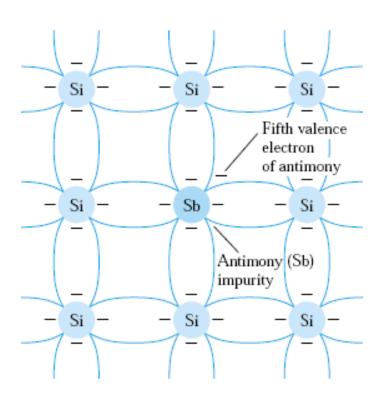
سويات المانحات في نصف الناقل من النوع-n:

يتشكل نصف الناقل المشوب من النوع n-1 بإضافة كمية صغيرة من ذرات عناصر العمود الخامس V من جدول مندلييف الدوري (Pb, As, Sb) إلى بلورة نقية من الجرمانيوم Ge أو السيلكون Si ، وذلك بإزاحة ذرة من السيلكون أو الجرمانيوم من أماكنها في الشبكة البلورية واستبدالها بذرة شائبة.

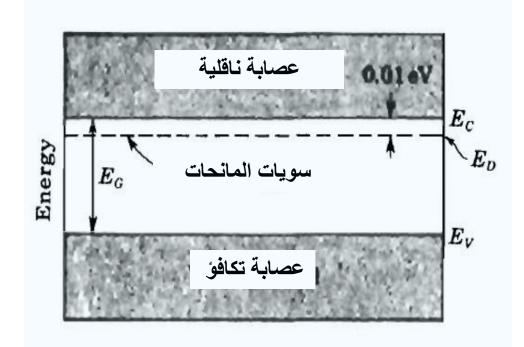
فذرة السيلكون أو الجرمانيوم تحوي 4 إلكترونات تكافؤ، بينما ذرات العمود الخامس تحوي كل منها 5 إلكترونات تكافؤ،

فتشكل 4 من إلكترونات الذرة الشائبة أزواج روابط مشتركة تكافؤية مع الكترونات الذرات المجاورة من مادة نصف الناقل النقي كما هو موضح بالشكل (4.3 a)، وأما الإلكترون الخامس فيكون مرتبط بشكل ضعيف بالذرة الشائبة بقوة كهربائية ضعيفة.

وبالتالي تملك كل ذرة شائبة في نصف الناقل المشوب الكتروناً إضافياً وهذا الإلكترون لا يمكن إسكانه في عصابة تكافؤ أصلية مملوءة ، إنما يشغل سوية طاقة متقطعة مسموحة تدعى بالسوية الشائبة المانحة E_D تقع أسفل عصابة الناقلية E_C بفارق طاقة صغير جداً من مرتبة E_C كما هو موضح بالشكل (4. 3b).



n-الشكل (4.3a) الشبكة البلورية لنصف ناقل من النوع وكل ذرة شائبة مانحة تولد إلكتروناً إضافياً



الشكل (4.3b) مخطط عصابات الطاقة لنصف ناقل مشوب من النوع n- ومبينة علية سويات الشائبات المانحات

وعند إثارة البلورة حرارياً فإن الذرات الشائبة تؤين بسهولة عند درجات حرارة 0 K ، وبالتالي تقفز الإلكترونات الإضافية من السويات المتقطعة المسموحة E_D إلى عصبة الناقلية وتشارك بالناقلية الكهربائية لنصف الناقل بالإضافة إلى أزواج الإلكترونات والثقوب المتولدة من الإثارة الحرارية لنصف الناقل .

وهكذا تكون حاملات الشحنة الإلكترونية أكثر من الثقوب (n > p) ، ولهذا تدعى هذه المواد بأنصاف النواقل المشوبة من النوع n ، وذرات المجموعة N من عناصر الجدول الدوري تدعى بالذرات المانحة، لأن كل ذرة تمنح إلكتروناً حراً إضافياً إلى نصف الناقل ولهذا السبب تدعى الناقلية الكهربائية الناتجة عن الذرات الشائبة بالناقلية الشائبة .

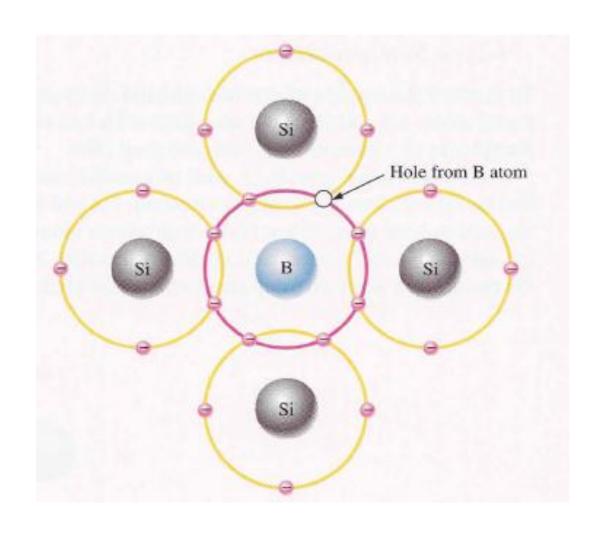
أنصاف النواقل من النوع -p

لزيادة عدد الثقوب في سيلكون نقي يتم إضافة ذرات شائبة ثلاثية التكافؤ. هذه الذرات تملك 3 إلكترونات تكافؤ مثل البورون (B) والإنديوم (In) والغاليوم (Ga) وكما هو موضح بالشكل (4.4).

كل ذرة ثلاثية التكافؤ (مثل البورون B) تشكل روابط مشتركة مع أربع ذرات سيلكون مجاورة.

وتستخدم إلكترونات التكافؤ الثلاثة في ذرة البورون في تشكيل الروابط المشتركة، وبما أنه يتطلب 4 إلكترونات، فإنه ينتج ثقب عندما تضاف كل ذرة ثلاثية التكافؤ.

وبما أنه يمكن للذرة ثلاثية التكافؤ أن تأخذ إلكتروناً فإنها تسمى بالذرة الآخذة.



الشكل (4.4) ذرة شائبة ثلاثية التكافؤ في بنية بلورة السيلكون وذرة البورون (B) مبينة في المركز.

Dr.Sadek pro

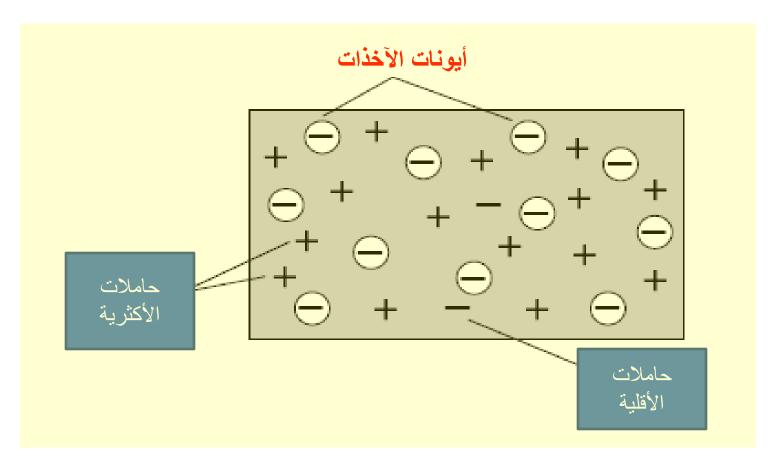
حاملات الشحنة الأكثرية والأقلية في نصف الناقل من النوع - p

بما أن معظم حاملات التيار هي الثقوب. فالسيلكون المشوب بذرات ثلاثية التكافؤ يدعى بنصف ناقل من النوع -p.

ويمكن اعتبار الثقوب شحنات موجبة لأن غياب إلكترون يترك شحنة موجبة على الذرة (تصبح أيوناً موجباً).

فالثقوب تشكل حاملات الأكثرية في نصف الناقل من النوع -p وكذلك يوجد عدد قليل من الإلكترونات الحرة التي تتولد من الإثارة الحرارية للزوج إلكترون – ثقب.

وبالتالي فالإلكترونات في نصف الناقل من النوع p تشكل حاملات أقلية. كما هو مبين بالشكل (4.5).



 \mathbf{p} – نصف الناقل من النوع

الشكل (4.5)

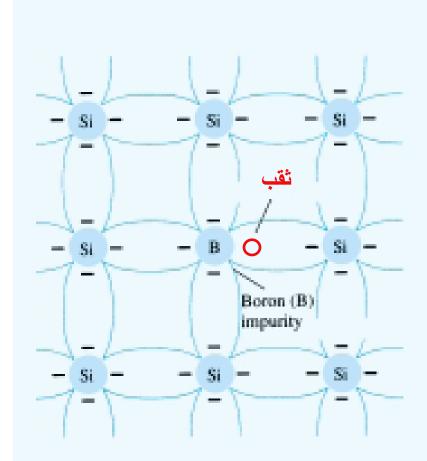
Dr.Sadek pro

سويات الآخذات في نصف الناقل من النوع -p:

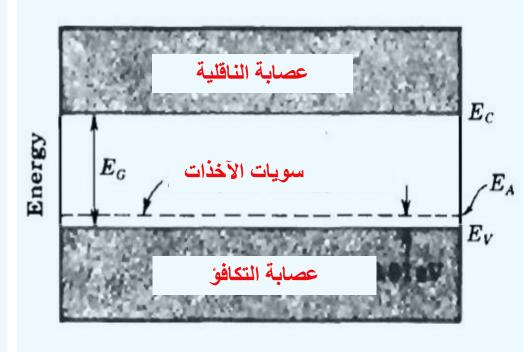
يتشكل نصف الناقل المشوب من النوع p-1 بإضافة ذرات عناصر العمود الثالث p-1 من الجدول الدوري للعناصر مثل p-1 (In, Ga, Al) كشوائب إلى بلورة نصف ناقل نقية مثل الجرمانيوم أو السيلكون، بحيث كل ذرة من عناصر العمود الثالث تحوي p-1 إلكترونات تكافؤ تستبدل بذرة نصف ناقل نقي مثل p-1 أو p-1 ،

وبالتالي تشكل إلكترونات التكافؤ الثلاثة من ذرات العمود [[] الشائبة أزواج روابط مشتركة (تكافؤية) مع إلكترونات الذرات المجاورة لمادة نصف الناقل.

أما الإلكترون الرابع من ذرة نصف الناقل فينقصه إلكترون كي يشكل رابطة مشتركة مع الذرة الشائبة ، وهذا يكافيء ثقب في مواقع الذرة الشائبة، كما هو موضح بالشكل (4.6a).



الشكل (a64.) الشبكة البلورية لنصف ناقل من النوع-p وكل ذرة شائبة آخذة تولد ثقباً إضافياً



الشكل (4.6b) مخطط عصب الطاقة لنصف ناقل مشوب من النوع p- ومبينة علية سويات الشائبات الآخذات

Dr.Sadek pro

وعندما يقفز إلكترون من ذرة نصف الناقل ليأخذ مكان الثقب تصبح شحنة الذرة الشائبة سالبة، وينتقل الثقب إلى الذرة التي غادرها الإلكترون.

وفي هذه الحالة تشكل ذرات نصف الناقل Si أو Ge الذرات المضيفة، بينما الذرات الشائبة من العمود [[] تشكل الذرات الآخذة لأنها أخذت إلكترونا من بنية الرابطة المشتركة لنصف الناقل تاركة ثقباً مهاجراً خلفها.

تقدم الذرات الشائبة العمود [[] من الجدول الدوري سويات طاقة متقطعة مسموحة فارغة تدعى سويات الذرات الشائبات الآخذات بالقرب من أعلى عصبة التكافؤ المضيفة والمملوءة كلياً كما هو موضح بالشكل(4.6b)،

وإن الطاقة اللازمة لانتقال الإلكترون من أعلى عصبة التكافؤ إلى سويات الآخذات تكون صغيرة جداً من مرتبة 0.01-0.1eV.

والثقوب المتولدة في عصبة التكافؤ بسبب انتقال الإلكترونات منها تشكل عدد كبير من حاملات الشحنة الموجبة في نصف الناقل وتسلك الثقوب سلوك حاملات شحنة موجبة بشكل مشابه للثقوب المتولدة بالإثارة الحرارية

وبما أن نصف الناقل المشوب بذرات آخذات وتملك نسبة من الثقوب أكبر من الإلكترونات(p>n) فإنها تدعى بأنصاف النواقل من النوع-p ، أو أنصاف النواقل الموجبة.

وتبين النتائج التجريبية أن ناقلية أنصاف النواقل من النوع-n أو النوع-p تكون أكبر بكثير من ناقلية أنصاف النواقل النقية.

4.2 الناقلية الكهربائية لأنصاف النواقل المشوبة ناقلية نصف الناقل المشوب كمون التماس طاقة فيرمى في حالة التوازن الحراري

4.2 الناقلية الكهربائية لأنصاف النواقل المشوبة:

تتم الناقلية الكهربائية في المعادن بواسطة الإلكترونات الحرة. أما في أنصاف النواقل فتتم بواسطة حاملات الشحنات (الإلكترونات والثقوب)، وعندما يطبق حقل كهربائي على نصف الناقل، فإنه تتحرك الإلكترونات والثقوب باتجاهين متعاكسين، بينما التيار الكهربائي الناشيء عنهما يكون له نفس جهة الحقل الكهربائي المطبق على بلورة نصف الناقل.

j = nev (4.1) و كثافة التيار الكهربائي تعطّى بالعلاقة التالية: $v = \mu E$ (4.2)

حيث n : كثافة الإلكترونات الحرة في البلورة المعدنية (Free e/cm³) .

تشحنة الإلكترون. $\frac{e}{}$

السرعة الجريانية للإلكترونات الحرة.

 μ : حركية الإلكترونات الحرة.

تشدة الحقل الكهربائي المطبق على الإلكترونات الحرة. E

 $j = ne\mu E$ (4.3) : و بالتالى يمكننا كتابة كثافة التيار كما يلي التياد كتابة كثافة التيار كما يلي $j = \sigma E$ (4.4) و تكتب كثافة التيار بدلالة E و فق العلاقة التالية: حيث: $\sigma = \frac{\sigma}{1}$: الناقلية الكهربائية للمعدن وتقدر ب أما في نصف الناقل فإن الناقلية تعطى بالعلاقة التالية: $\sigma = (n\,\mu_n + p\,\mu_p)e$ (4.5)حيث: n: تركيز حاملات الشحنة (الإلكترونات) تركيز حاملات الشحنة (الثقوب) Pحركية الإلكترونات : μ_n حركية الثقوب: حركية

و في حالة نصف ناقل نقي فإن $n=p=n_i$ فإن العلاقة (4.5) $\sigma=n_i (\mu_n+\mu_p)e$ تكتب و فق العلاقة التالية:

حيث: $\frac{n_i}{n_i}$: تركيز حاملات الشحنة في نصف الناقل النقي. Dr.Sadek pro

إن ناقلية نصف الناقل المشوب تتعلق بدرجة الحرارة، ففي مجال درجة الحرارة المنخفضة فإن الناقلية تتم بواسطة حاملات شحنة الشائيات

أما في مجال درجة الحرارة الوسطى فتزداد عدد حاملات الشحنة وتصل إلى حد الإشباع ، وعندما تصبح درجة الحرارة عالية جداً فإن الناقلية تتم بواسطة حاملات الشحنة الحقيقية.

في نصف الناقل المشوب من النوع - n أو من النوع - p ، فإن كافة الشائبات تتأين عند درجات حرارة الغرفة ، وتصل إلى حد الإشباع، ويبقى عدد حاملات التيار ثابتاً.

أما عند درجة الحرارة أعلى بكثير من درجة حرارة الغرفة (T>300K) فتكون الطاقة الحرارية كافية لإثارة عدد كبير من الإلكترونات من عصبة التكافؤ إلى عصبة الناقلية، وبالتالي فإن سلوك نصف الناقل عند درجة حرارة الغرفة تحدده سويات الشائبات.

أما سلوك نصف الناقل المتعلقة خواصه بالإلكترونات المثارة من عصبة التكافؤ إلى عصبة الناقلية عبر الفجوة المحظورة E_g فيدعى بسلوك نصف الناقل النقى.

وبازدياد درجة حرارة نصف الناقل فإن كثافة الإلكترونات والثقوب تزداد وفق العلاقة التالية: E_{x}

 $n_i = A_o T^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g}{2KT}}$

حيث $\frac{A_o}{a}$: ثابت مستقل عن درجة الحرارة.

. (eV) عرض المجال المحظور عند $0K^o$ و تقدّر بواحدة $E_g=E_c-E_v$

. ثابت بولتزمان: $K = 1.38 \times 10^{-23} JK^{-1}$

و بالتالي تتغير الناقلية الكهربائية لنصف الناقل مع درجة الحرارة وفق العلاقة التالية:

$$\sigma(T) = (\mu_n + \mu_p).e.A_0.T^{\frac{3}{2}}.e^{-\frac{E_g}{2KT}}$$
 (4.7)

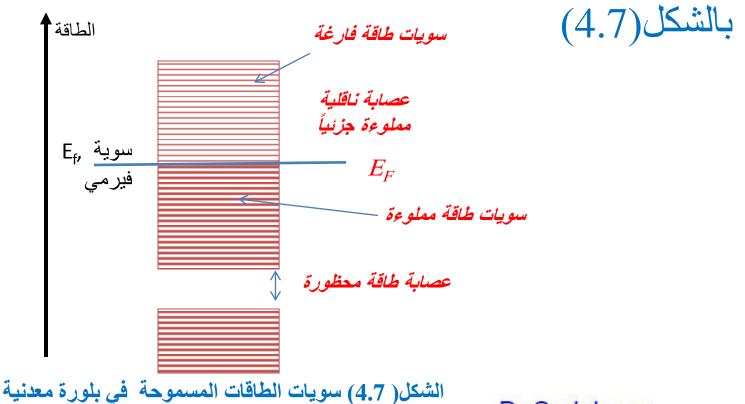
$$\sigma(T) = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E_g}{2KT}}$$

أو: (4.8)

Dr.Sadek pro

كمون التماس:

تبين نظرية الإلكترون الحر الكوانتية أن الإلكترونات الحرة في البلورة المعدنية (بئر كمون) تملك مجالاً من الطاقات المسموحة من الصفر إلى طاقة عظمى مسموحة موافقة للعدد الكوانتي $n=n_f$ ، وتدعى هذه الطاقة العظمى المسموحة بطاقة فيرمي E_F كما هو مبين

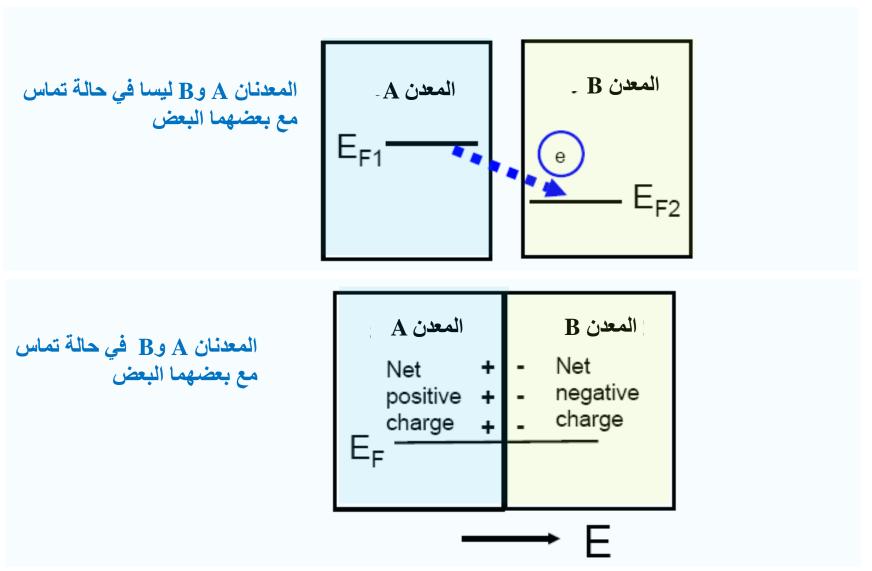


Dr.Sadek pro

عندما يكون معدنان A و B مختلفان و منفصلان ليسا على تماس مع بعضهما البعض ، فلكل معدن طاقة فيرمي و عمق بئر كمون و تابع عمل مختلفة عن المعدن الآخر ، و بفرض أن E_{FA} أكبر من عند OK عند OK .

أما عندما يكون المعدنان A وB على تماس مع بعضهما البعض، بحيث يكون البعد بينهما من مرتبة البعد الذري في المعدنين، كما هو مبين بالشكل(4.8) ، وعند تتشكل الجملة المكونة من المعدنين $oldsymbol{\mathrm{B}}$ فالإلكترونات في المعدن $oldsymbol{\mathrm{A}}$ تتناقص طاقتها وتنساب إلى المعدن وتشغل سويات الطاقة الشاغرة في المعدن $\mathbf B$ حتى تتحقق حالة التوازن الحراري وتتساوى سويتا فيرمي في المعدنين، وبالتالي تصبح شحنة سطح المعدن B سالبة، بينما شحنة سطح المعدن A موجبة. وبالتالي ينشأ فرق في الكمون بين سطحي المعدنين يدعى بكمون V_c التماس

انتقال الإلكترونات بين المعدنين عند تشكيل التماس بينهما



الشكل (4.8) سوية فيرمي E_F في معدنين في حالة تماس

طاقة فيرمي في حالة التوازن الحراري

في حالة التوازن الحراري للأجسام في حالة تماس مع بعضها تكون طاقة فيرمي E_F ثابتة في كافة المواضع كما هو مبين بالشكل (4.9)



الشكل (4.9) طاقة فيرمي لمعادن في حالة تماس في حالة التوازن الحراري Dr.Sadek pro

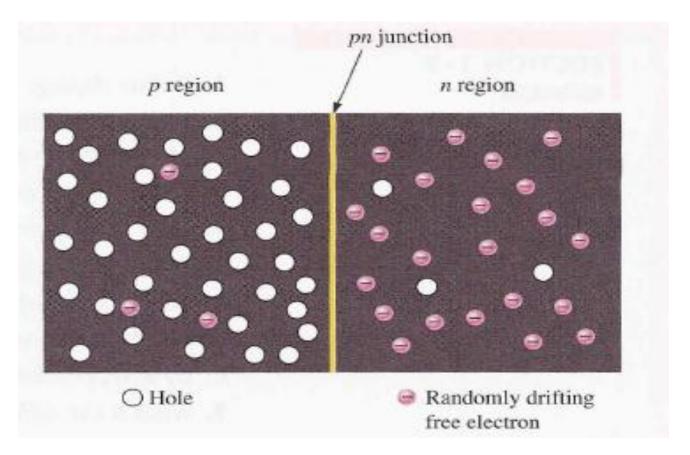
4.3 الديود (المتصل الثنائي)
آلية عمل المتصل الثنائي(الديود) p-n:
تشكيل منطقة الاستنزاف
حاجز الكمون
مخطط الطاقة للمتصل الثنائي p-n ومنطقة الاستنزاف

4.3 الديود (المتصل الثنائي)

p-n يتشكل المتصل الثنائي p-n من التحام نصف ناقل من النوع بالانضغاط الحراري مع نصف ناقل من النوع p-1 كما هو مبين بالشكل p-1 .

فالمنطقة p تحتوي على عدد كبير من الثقوب (حاملات أكثرية) ناتجة عن الذرات الشائبة وعدد قليل من الإلكترونات الحرة المتولدة حرارياً (حاملات أقلية).

والمنطقة n تحتوي على عدد كبير من الإلكترونات (حاملات أكثرية) من الذرات الشائبة وعدد قليل من الثقوب المتولدة حرارياً (حاملات أقلية).



الشكل (4.10) البنية الأساسية للديود عند تشكيل المتصل الثنائي ويبين حاملات الأكثرية والأقلية

آلية عمل المتصل الثنائي (الديود) p-n:

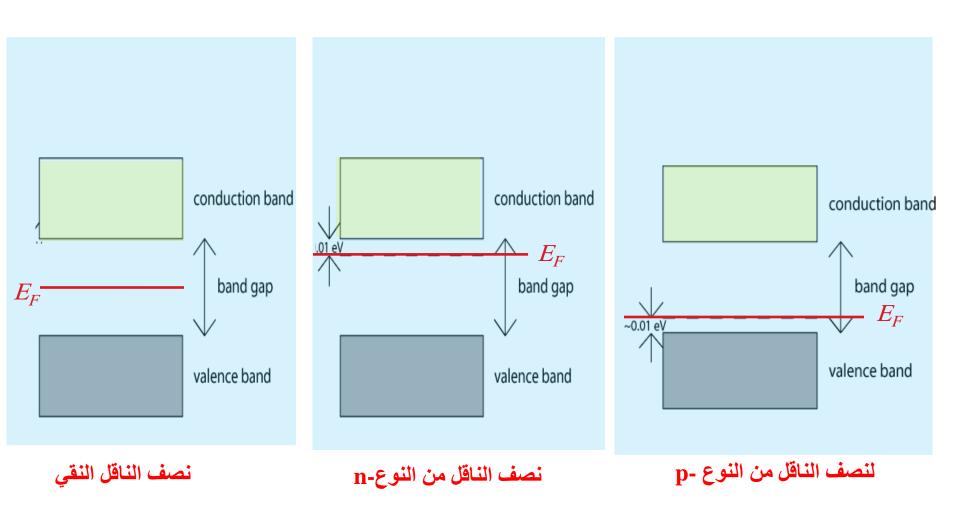
تعتمد آلية عمل الديود على المبادىء التالية:

في نصف الناقل النقي يتساوى عدد الإلكترونات مع عدد الثقوب n=pويتناقص تركيز الإلكترونات في عصبة الناقلية أسياً مع از دياد الطاقة، بينما يتناقص تركيز الثقوب في عصبة التكافؤ أسياً مع تناقص الطاقة.

0 Kوتقع سوية فيرمي في نصف الناقل النقي عند درجة الحرارة في منتصف العصبة المحظورة.

أما في نصف الناقل من النوع-n فتقع سوية فيرمي في أعلى سويات المانحات وأسفل عصبة الناقلية.

في حين تقع سوية فيرمي لنصف الناقل من النوع -p بين سويات الآخذات و عصبة التكافؤ كما هو موضح بالشكل(4.11).



n- الشكل (4.11) سويات فيرمي لنصف ناقل نقي و نصف ناقل من النوع .p. و نصف ناقل من النوع .Dr.Sadek pro

b) عندما يكون نصفا ناقلين من النوع n والنوع على تماس مع بعضهما البعض فإنه يحدث انتقال للإلكترونات الفائضة من نصف الناقل من النوع n إلى النوع p ،

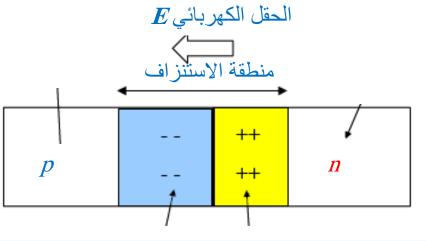
وتتناقص طاقة الإلكترونات بالانتشار إلى الحالات الفارغة في الجانب-p وحيث يشحن بشحنة كهربائية سالبة وتتولد شحنة كهربائية موجبة على الجانب-n ، حتى تتساوى سويتا فيرمي على جانبي المتصل p-n . ويحصل التوازن الحركي عندما يمنع الحقل الكهربائى الناشىء E بين p-1 انتشار الإلكترونات من الجانب p-1 إلى الجانب p-1 . من المتصل pان الإلكترونات المتدفقة من الجانبnالي الجانب pمن المتصل (cسوف تجرد نصف الناقل من النوعn-1 من الإلكترونات الموجودة في المنطقة القريبة من المتصل ، وسوف تبقى الشحنات الساكنة الموجبة (الأيونات المانحة الموجبة) كما هو موضح بالشكل (4.11).

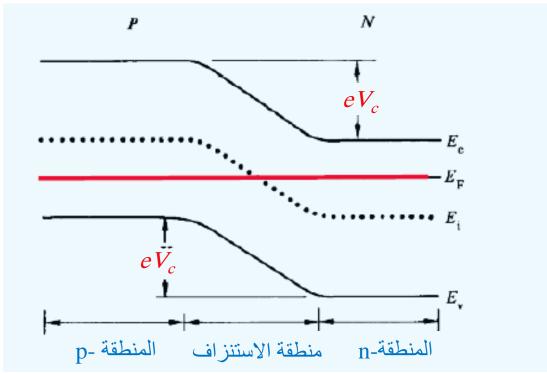
وبالمثل توجد على الجانب -p منطقة تحتوي على أيونات آخذات ذات شحنة سالبة ساكنة، وبالتالي فإن منطقة المتصل تتكون من منطقتي استنزاف تحتويان على شحنات ساكنة متساوية ومن نوعين مختلفين، ويمكن اعتبار هما مكثف مشحون.

إن تغيرات الكمون في منطقة الاستنزاف يدعى حاجز الكمون، وحاجز الطاقة الكامنة في منطقة الاتصال المبين بالشكل(4.12) يمنع الإلكترونات التي طاقتها أقل من eV_{c} من الانسياب من الجانب n إلى الجانب eV_{c} عبر المتصل. عندما يتحقق تشكل المتصل الثنائي p-n ، وفي حالة التوازن الحراري تتساوي سويتا فيرمى على جانبي المتصل، فإنه تنزاح عصب الطاقة بحيث تصبح سوية فيرمى أعلى من منتصف العصبة المحظورة في نصف الناقل من النوع-n وأسفل منتصف العصبة المحظورة في نصف الناقل من النوع-p، ولذلك تصبح الطاقة الكامنة للإلكترونات في المنطقة-p أعلى من طاقتها الكامنة في المنطقة-n كما هو مبين بالشكل (4.12).

ويخضع توزع الإلكترونات في المنطقة p والمنطقة على جانبي المتصل y المتصل المحساء ماكسويل بولتزمان:

متصل ثنائي p-n في حالة توازن حراري





الشكل (4.12) حاجز كمون المتصل الثنائي

$$n_p = n_n \exp(-\frac{eV_c}{KT}) \tag{4.11}$$

p- عيث: n_p : تركيز الإلكتر ونات في المنطقة

و n_n : تركيز الإلكترونات في المنطقة n_n .

و V_c : كمون التماس.

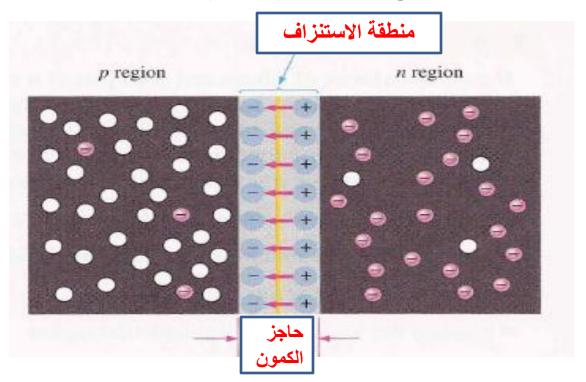
وفي حالة التوازن يتساوي عدد الإلكترونات المتدفقة في كل اتجاه عبر الحاجز ويساوي $i_0 \propto n_p$ فإن عدد الإلكترونات المتدفقة عبر الحاجز في كل اتجاه تعطى بالعلاقة:

$$i_0 = n_n \exp(-\frac{eV_c}{KT}) \tag{4.12}$$

و كمون التماس يمنع أي تدفق إضافي للإلكترونات عبر منطقة العبور أو الاستنزاف في المتصل والتي يتراوح عرضها ضمن المجال ($200-300A^0$).

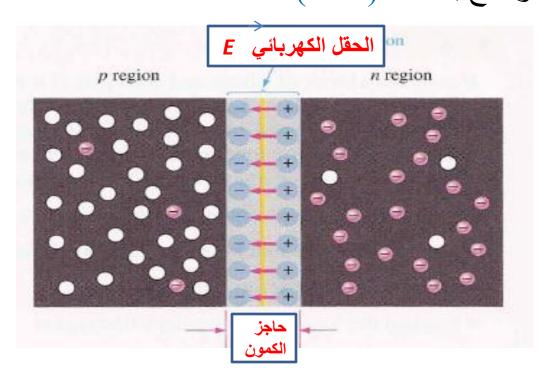
تشكيل منطقة الاستنزاف

إن الإلكترونات الحرة في المنطقة n تتحرك عشوئياً في كافة الاتجاهات. وعند تشكل المتصل p-n. تبدأ الإلكترونات الحرة القريبة من الحد الفاصل من المنطقة n بالعبور وتجتاز المتصل إلى المنطقة p وتتحد مع الثقوب قرب الحد الفاصل للمتصل كما هو موضح بالشكل (4.13).



الشكل (4.13) تشكيل منطقة الاستنزاف Dr.Sadek pro

وعند تشكل المتصل p-n. فالمنطقة n تخسر إلكترونات حرة عند انتشارها عبر المتصل. وهذا يولد طبقة من الشحنات الموجبة (أيونات خماسية التكافئ) بجوار المتصل. وحالما تجتاز الإلكترونات المتصل فالمنطقة p تخسر الثقوب عندما تتحد الإلكترونات والثقوب وهذا يولد طبقة من الشحنات السالبة (أيونات ثلاثية التكافئ) بجوار المتصل وهاتين الطبقتين من الشحنات الموجبة والسالبة تشكل منطقة الاستنزاف كما هو موضح بالشكل (4.14).



الشكل (4.14) الحقل الكهربائي المتولد في منطقة الاستنزاف وتشكيل حاجز الكمون Dr.Sadek pro

ومصطلح الاستنزاف يعبر على أن المنطقة بجوار المتصل p-n استنزفت من حاملات الشحنة (الإلكترونات والثقوب) بسبب الانتشار عبر المتصل.

وتتسع منطقة الاستنزاف إلى أن يحصل التوازن ويتوقف انتشار الإلكترونات عبر المتصل، ويتم ذلك عندما تزداد الشحنة السالبة الكلية في منطقة الاستنزاف وتطبق قوى تنافر كهربائية على الكترونات منتشرة إضافية إلى المنطقة p وبالتالي يتم توقف انتشار الإلكترونات الحرة.

وبعبارة أخرى تعمل منطقة الاستنزاف كحاجز يمنع حركة الإلكترونات عبر المتصل.

حاجز الكمون

يوضح الشكل (4.12) الحقل الكهربائي بين الشحنات الموجبة والشحنات السالبة على طرفي المتصل.

فالحقل الكهربائي \vec{E} يمثل حاجز للإلكترونات الحرة في المنطقة وبالتالي يجب أن تزداد طاقة الإلكترون كي تمكنه من اجتياز منطقة الحقل الكهربائي .

وهذا يعني أن الإلكترون يجب أن يملك طاقة خارجية كافية لكي يجتاز حاجز الحقل الكهربائي في منطقة الاستنزاف، و يدعى فرق الكمون بين حدي منطقة الاستنزاف بحاجز الكمون ويقاس بالفولت.

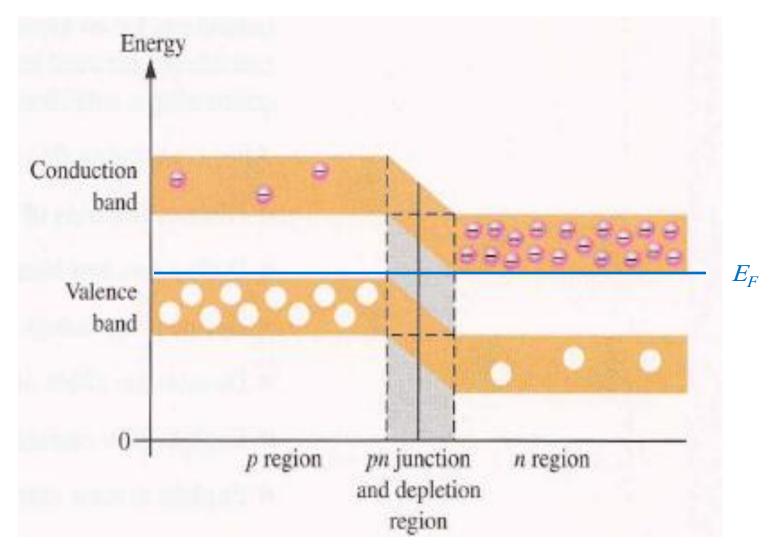
وبالتالي يجب تطبيق فرق كمون مناسب يساوي إلى حاجز الكمون وبقطبية مناسبة على المتصل p-n لكي تجتاز الإلكترونات حاجز الكمون وتعبر المتصل.

إن حاجز الكمون للمتصل p-n يتعلق بعدة عوامل أهمها مادة نصف الناقل وكمية الإشابة ودرجة الحرارة وقيم حاجز الكمون للسيلكون يساوي 0.7V وللجرمانيوم يساوي 0.3V عند درجة الحرارة 0.5C.

مخطط الطاقة للمتصل الثنائي p-n ومنطقة الاستنزاف

إن عصابتي التكافؤ والناقلية في نصف الناقل من النوع - n أخفض في سويات طاقتها من عصب التكافؤ والناقلية في نصف الناقل من النوع - p، وهذا يعود للفرق في المميزات الذرية للذرات الشائبة خماسية التكافؤ وثلاثية التكافؤ.

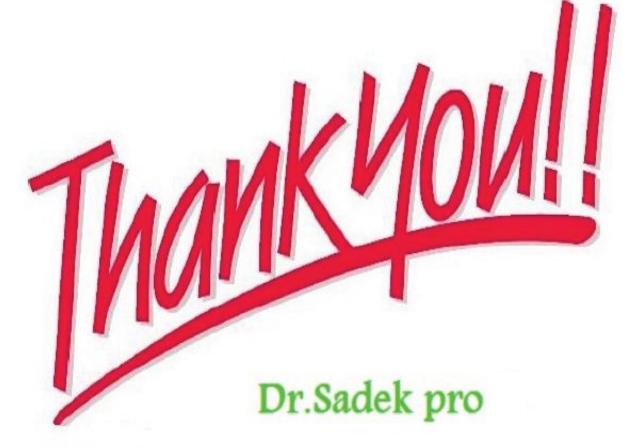
إن مخطط الطاقة للمتصل p-p-pموضح بالشكل (4.15). فعصب طاقة الناقلية والتكافؤ في المنطقة p أخفض في سويات طاقاتها من العصب في المنطقة p في حالة التوازن، ويوجد تدرج في الطاقة عبر منطقة الاستنزاف وتشكل هضبة طاقة يتوجب لإلكترون المنطقة p أن يملك طاقة كافية ليصل إلى المنطقة p.



الشكل (4.15) مخططات الطاقة للمتصل p-n ومنطقة الاستنزاف في حالة التوازن

إن تشكيل منطقة شحنات فراغية موجبة وسالبة على جانبي المتصل تولد حقلاً كهربائياً على جانبي المتصل كما هو مبين بالشكل(4.14)،

وبالتالي يوجد حاجز كمون على جانبي المتصل كما هو مبين بالشكل (4.15). حيث يجب على الإلكترونات الحرّة والثقوب حرّة الحركة أن تتغلب على حاجز الكمون كي تعبر المتصل. فارتفاع حاجز الكمون للمتصل p-n السيليكوني يساوي 0.7V، وللجرمانيوم يساوي 0.3V.





sadekpro sadek berro عدادق برو



sadekpro @gmail.com

MOB 0933406346