جامعة الموصل
كلية العلوم / قسم الفيزياء

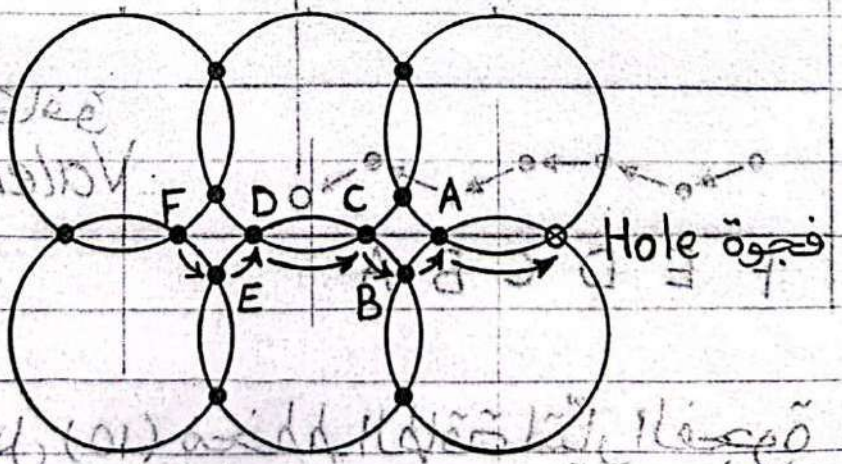
بسم الله الرحمن الرحيم

7. تيّار الفجوة:

الفجوات أيضاً تستطيع الحركة وبذلك تُنتج تياراً. بعبارة أخرى يوجد في شبه الموصل نوعان مُتميّزان من التيّار هما تيّار حزمة التوصيل وتيّار الفجوة.

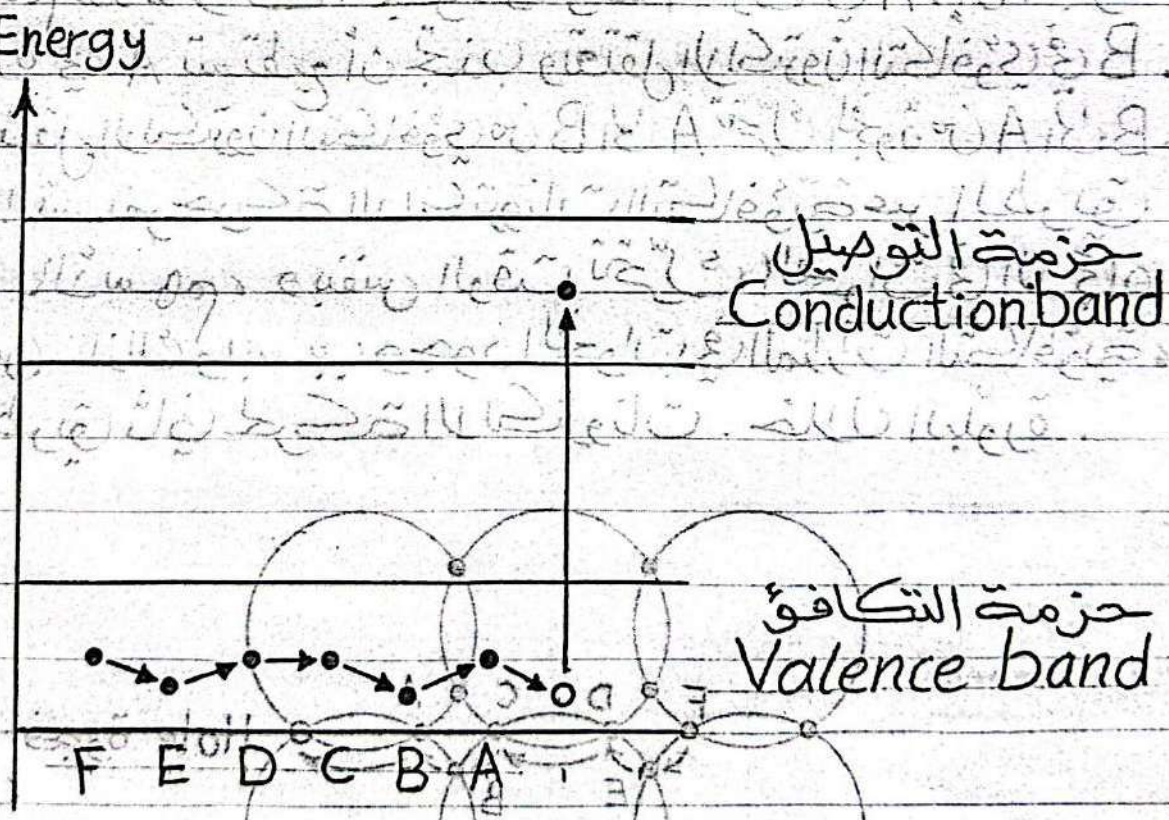
س/ كيف تتحرّك الفجوات؟

في أقصى اليمين من الشكل (9) توجد فجوة، هذه الفجوة تجذب الالكترون التكافؤي في A. بتغيّر لهذه بالطاقة يستطيع الالكترون التكافؤي في A أن يتحرك الى الفجوة. وعندما يتم هذا تلاشى الفجوة وتتولد أخرى في A. إنّ الفجوة الجديدة في A تستطيع أن تجذب وتنقل الالكترون التكافؤي في B. وعندما ينتقل الالكترون التكافؤي من B الى A تتحرّك الفجوة من A الى B. وهكذا تستمر حركة الالكترونات التكافؤيّة عبر الطريق المبيّن بالأسهم، وبنفس الوقت تتحرّك الفجوات في الاتجاه المعاكس. لذلك وبسبب وجود الفجوات في المدارات التكافؤية، هناك طريق ثاني لحركة الالكترونات. خلال البلّورة.



شكل (9) تيّار الفجوة

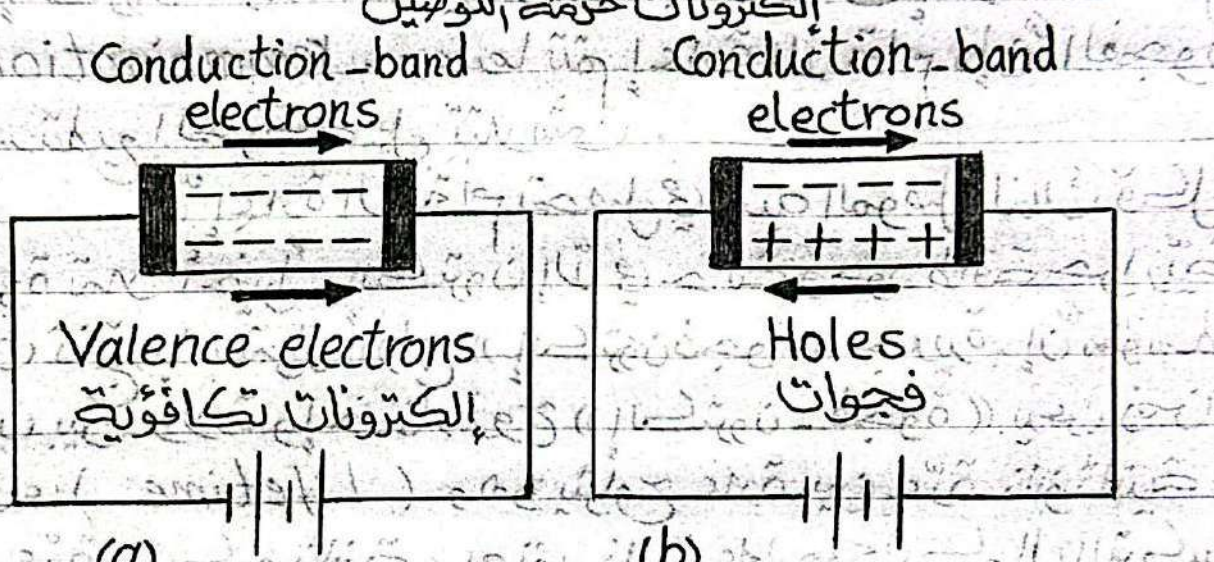
فيما يلي شرحٌ لما يحصل وذلك بالاستعانة بمستويات الطاقة. لنبدأ بطاقة حرارية ترفع الكتروناً من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل حيث تخلّف فجوة في حزمة التكافؤ كما مبيّن بالشكل (10). بتغيير طفيف بالطاقة، يستطيع الالكترون التكافؤي في A أن يتحرّك الى الفجوة. وعندما يتم هذا تختفي الفجوة الأصليّة وتظهر أخرى جديدة في A. بعد هذا، فان الالكترون التكافؤي في B يستطيع أن ينتقل الى الفجوة الجديدة عند تغيّر طفيف بالطاقة. بهذه الطريقة - وبتغيّر قليل جداً بالطاقة - تستطيع الالكترونات التكافؤيّة أن تتحرّك عبر الطريق المبيّن بالأسهم، وهذا يكافئ فجوة تتحرّك خلال حزمة التكافؤ عبر الطريق ABCDEF.



شكل (15) مخطط الطاقة لتيار الفجوة

أزواج (الكترون - فجوة)

عندما نسلّط فولتيّة خارجيّة على بلّورة ما فإنّها ترغم إلكتروناتها على الحركة. في الشكل (11a) هناك نوعان من الالكترونات القادرة على الحركة وهما إلكترونات حزمة التوصيل والالكترونات التكافؤيّة. وحركة الالكترونات التكافؤيّة الى اليمين تعني فجوات مُتحرّكة الى اليسار.



شكل (11) مسريان للتيّار

وفي مُعظم الأحيان نُفضّل الحديث عن الفجوات وليس عن الالكترونات التكافؤيّة. ومما تجدر الاشارة اليه إنّ وجود أي إلكترون توصيل في شبه موصل نقي يعني وجود فجوة في المدار التكافؤي لذرّة ما. بعبارة أخرى فانّ الطاقة الحراريّة تنتج أزواج إلكترون - فجوة electron-hole pairs. وتعمل الفجوات عمل الشحنات الموجبة لذلك رمزنا لها بالاشارات الموجبة كما في الشكل (11b). وكما صورنا سابقاً الكترونات التوصيل متحركة الى اليمين نفكّر في الفجوات (شحنات موجبة) تتحرك الى اليسار.

إعادة الالتحام

في الشكل (b11)، كل إشارة سالبة تمثّل إلكترون حزمة توصيل في مدار كبير وكل إشارة موجبة تعني فجوة في مدار أصغر. وقد ينطوي مدار حزمة التوصيل لذرّة ما على مدار الفجوة في ذرّة أخرى، لذلك فمن الممكن أن يسقط إلكترون حزمة توصيل في فجوة بين الفينة والفينة. إنّ عمليّة الاندماج بين إلكترون حزمة التوصيل وبين فجوة تدعى إعادة الالتحام recombination. وعندما تتم إعادة الالتحام فإنّ الفجوة لا تستطيع الحركة بل تتلاشى.

إنّ إعادة الالتحام تحصل في شبه الموصل لذلك فكل فجوة تملأ أخيراً بالكترون إلاّ في حالة وجود طاقة حراريّة حيث تنتج باستمرار أزواج «إلكترون فجوة» جديدة. إنّ متوسط الزمن بين ولادة وإختفاء زوج «إلكترون - فجوة» يدعى زمن البقاء (Lifetime) وهو يتراوح عادة بين عدّة نانوثانية الى عدّة مايكروثانية، يعتمد ذلك على مدى كمال التركيب البلوري وعلى عوامل أخرى.

الموصل
علوم / قسم الفيزياء

بسم الله الرحمن الرحيم

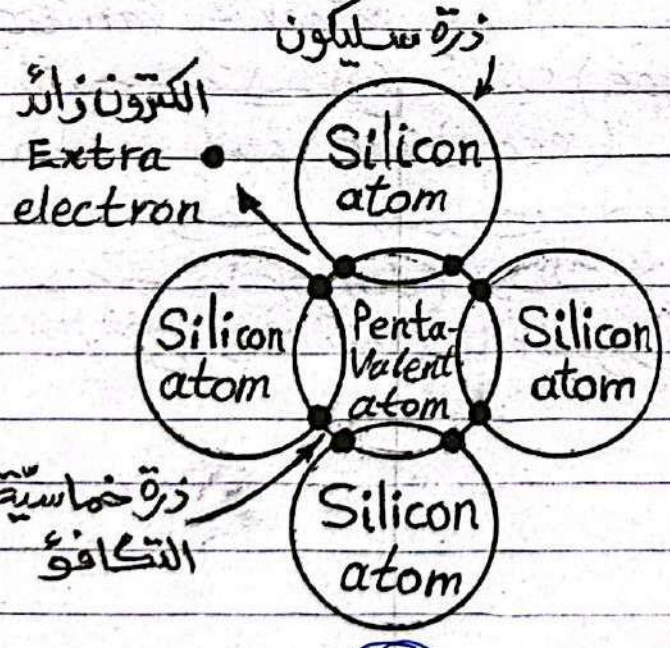
1.8 التطعيم :

سوف ندعو بلورة السليكون النقيّة (كل ذراتها من السليكون) بشبه الموصل الاصيل (النقي) intrinsic semiconductor. ان حاملات التيار الوحيدة في شبه الموصل الاصيل هي أزواج (الكترون - فجوة) وفي معظم التطبيقات العمليّة لا يوجد الكثير منها لانتاج تيار مفيد.

التطعيم يعني إضافة ذرات من الشوائب (ليست رباعية التكافؤ) الى البلورة من أجل زيادة عدد الالكترونات الطليقة أو لاجل زيادة عدد الفجوات. عندما تطعم البلورة تدعى شبه موصل مطعّم أو غير نقي (extrinisic semiconductor).

شبه موصل نوع سالب (n)

للحصول على الكترونات حرة توصيل إضافيّة. نضيف ذرّات خماسيّة التكافؤ حيث تحتوي كل ذرة منها على خمسة الكترونات حرّة في مدارها التكافؤي. وبعد إضافة هذه الذرات الى بلورة السليكون النقيّة تبقى معظم ذرات البلورة من السليكون أيضاً ولكننا نجد بين مكان وآخر ذرة خماسية التكافؤ بين أربعة جيران كما مبين في الشكل (2a).



شكل (12) التطعيم بشائبة مانحة

إنّ الذرة الخماسيّة تمتلئ أملاً خمسة الكترونات في مدار التكافؤ. ولكن بعد تكوين الأواصر التساهميّة مع أربعة جيران يبقى للذرّة المركزيّة الكترون زائد. وبما أن المدار التكافؤي لا يستوعب أكثر من ثمانية الكترونات، لذا يتوجب على الالكترون الزائد أن ينتقل الى مدار حزمة التوصيل. فيما يلي شرح موجز لما نجده في بلوره مطعّمة بشوائب خماسية التكافؤ:

1. ينتج العديد من الكترونات حزمة التوصيل نتيجة للتطعيم. وبما ان كل ذرة خماسيّة تعطي الكترونا واحدا فقط من الالكترونات حزمة التوصيل. لذلك نستطيع أن نسيطر على عدد الالكترونات حزمة التوصيل بواسطة تسيطر على كمية الشوائب المضافة.

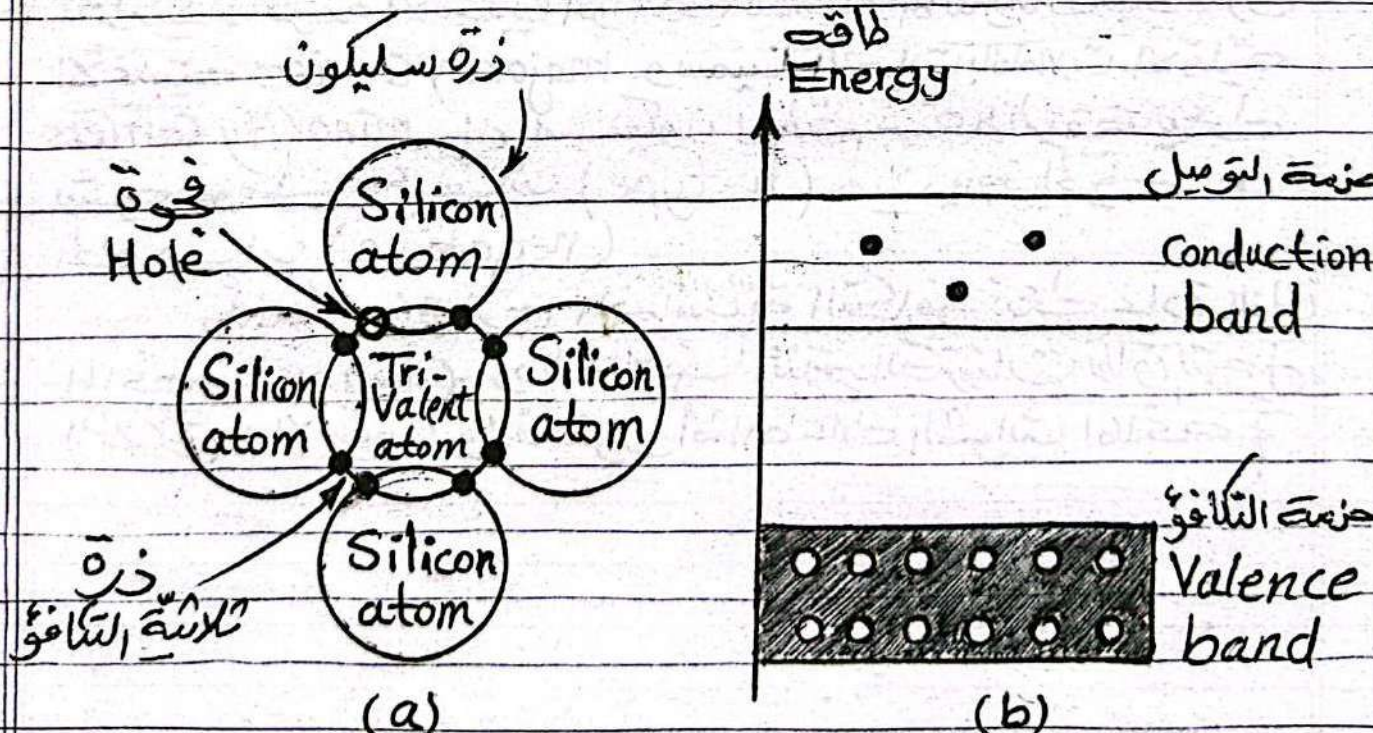
2. تبقى الطاقة الحرارية مستمرة في توليد أزواج (الكترون - فجوة) بأعداد قليلة تقل كثيراً عن عدد الالكترونات حزمة التوصيل الناتجة عن التطعيم.

الشكل (12b) يبيّن بلوره مطعّمة بشوائب خماسيّة التكافؤ حيث يوجد عندنا عدد كبير من الالكترونات حزمة التوصيل ناتجة عن التطعيم، كما أن هناك عدد قليل من الفجوات ناتجة عن الطاقة الحرارية. لهذه الأسباب الواضحة سمّينا الالكترونات بالحاملات الأغلبيّة majority carriers وسمينا الفجوات بالحاملات الاقليّة minority carriers. إن السليكون المطعّم بهذه الطريقة يدعى شبه موصل نوع سالب (n-type) حيث يرمز الحرف n الى سالب (negative).

وأخيراً، فالذرات الخماسيّة التكافؤ تدعى عادة بالذرات المانحة (donor) وذلك لانها تنتج الكترونات نطاق التوصيل. الزرنيخ والانتيمون والفسفور أمثلة على الشوائب المانحة.

شبه موصل نوع موجب (P)

كيف نستطيع أن نطعّم بلّورة ما للحصول على فجوات إضافيّة؟ بواسطة إستعمال الشوائب الثلاثيّة التكافؤ (والشائبة الثلاثية التكافؤ هي تلك الذرة التي يوجد في مدارها التكافؤي ثلاثة إلكترونات). بعد إضافة الشوائب يحد كل ذرة ثلاثية التكافؤ محاطة بأربعة جيران كما مبيّن في الشكل (13a). وبما أن كل ذرة ثلاثيّة التكافؤ قد جلبت معها ثلاثة إلكترونات في مدارها التكافؤي، لذلك ستتقبل سبعة الكترونات فقط في مدارها التكافؤي. وبعبارة أخرى، تظهر فجوة في كل ذرة ثلاثية. ويمكننا أن نسيطر على عدد الفجوات في البلّورة المطعّمة وذلك بواسطة السيطرة على كميّة الشوائب المضافة. إنّ شبه الموصل المطعّم بشوائب ثلاثية التكافؤ يدعى شبه موصل نوع موجب p-type حيث يمثل الحرف p موجب (positive). وكما مبين في الشكل (13b) فان عدد الفجوات في شبه موصل نوع موجب أكبر بكثير من عدد الكترونات حزمة التوصيل، وعليه تكون الفجوات هي الحاملات الاغلبيّة بينما تكون الكترونات حزمة التوصيل هي الحاملات الاقليّة.



شكل (13) التطعيم بشائبة متقبّلة

إنّ الذرات الثلاثيه التكافؤ تدعى أحياناً بالذرات المتقبّله (acceptor). وسبب ذلك هو كل مجموعة ساهمت الذرات بها مستعدة لتقبل إلكترون خلال عمليّة إعادة الالتحام. الالمنيوم والبورون والغاليوم أمثله على الشوائب المتقبله.

المقاومة الاجماليّة

إن شبه الموصل المطعّم له مقاومه تدعوها المقاومه الاجماليه (bulk resistance) ويكون لشبه الموصل المطعّم تطعيماً خفيفاً مقاومة إجماليّة عاليه. أما إذا زاد التطعيم فان المقاومه الاجماليّة تقل.

جامعة الموصل
كلية العلوم/قسم الفيزياء

بسم الله الرحمن الرحيم

2- وصلات (pn) (pn) Junctions

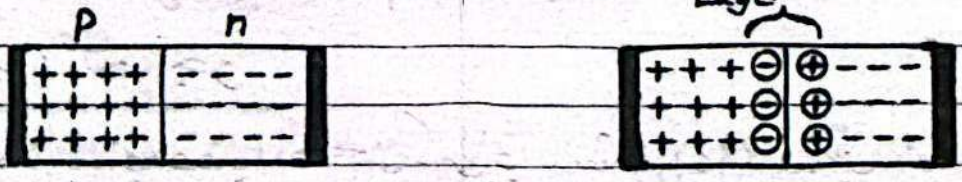
الوصلة junction عبارة عن ملتقى المنطقة من النوع الموجب مع المنطقة من النوع السالب. أما ثنائي الوصلة junction diode فهو أسم يطلق على بلورة pn. (الاسم ثنائي diode مشتق لقطبين إثنين two electrode حيث أن البادئة (di) تعني إثنين).

يشرح هذا الفصل كيفية عمل ثنائيات الوصلة.

2.1 الثنائي غير المنحاز:

الشكل (1a) يبين ثنائي وصلة حيث تمتلك الجهة p العديد من الفجوات وتمتلك الجهة n العديد من الكترونات حزمة التوصيل. ولتجنب الارتباك، لم تبين حاملات الاقلية ولكن يجب أن تأخذ بنظر الاعتبار الأعداد القليلة من الكترونات حزمة التوصيل في الجهة p والأعداد القليلة من الفجوات في الجهة n.

إن الثنائي المبين في الشكل (1a) غير منحاز unbiased وهذا يعني لاتوجد فولتية خارجية مسلطة عليه.



(a) قبل الانتشار (b) بعد الانتشار

(c) مجال طبقة الاستنزاف

الشكل (1)