طبقة الاستنزاف

إنّ الالكترونات الموجودة في الجهة n تنتشر diffuse في جميع الاتجاهات وبعضها تنتشر عبر الوصلة. وعندما يدخل الكترون ما المنطقة p يصبح حاملاً "أقلياً". وبوجود الأعداد الكبيرة من الفجوات حوله يكون زمن بقائه قصيراً. فخلال دخوله المنطقة p يسقط في فجوة. وعندما يتم هذا فإنّ الفجوة تختفي ويصبح الالكترون الكترونًا "تكافؤيًا".

في كل مرّة ينتشر الكترون ما عبر الوصلة، ينتج زوجاً من الأيونات ions. الشكل (1b) يبيّن هذه الأيونات على كل من طرفي الوصلة. فالدوائر التي تحوي إشارات موجبة تمثل الأيونات الموجبة والدوائر التي تحوي إشارات سالبة تمثل الأيونات السالبة. تكون الأيونات ثابتة في التركيب الذرّي، وسبب ذلك هو الربط التساهمي وهي بذلك لا تستطيع التجوّل كما تفعل الكترونات حزمة التوصيل أو الفجوات.

إن كل زوج متكون من أيون موجب وسالب في الشكل (1b) يدعى ثنائي القطب dipole. ووجود ثنائي القطب يعني أنّ "الكترونًا" واحدًا من الكترونات حزمة التوصيل وفجوة واحدة قد توقفا عن التجوال. وبتزايد أعداد ثنائي القطب، تخلى المنطقة المتاخمة للوصلة من الشحنات المتحركة. وندعو هذه المنطقة الخالية من الشحنات بطبقة الاستنزاف depletion layer.

الجهد الحاجز

إنّ كل ثنائي قطب له مجال كهربائي الشكل (1c). يبيّن السهم إتجاه القوة على شحنة موجبة. لذلك فعندما يدخل الكترون ما الى طبقة الإستنزاف يحاول المجال إرجاعه ثانية الى منطقة n. إن قوة المجال تزداد مع كل الكترون عابر الى أن يستطيع المجال أخيراً وقف الالكترونات من عبور الوصلة.

يجب علينا أن نأخذ بنظر الاعتبار الحاملات الاقلية في التقريب الثاني. لذلك، نتذكّر بأنّ الجهة p فيها قليل من الكترونات حزمة التوصيل الطنيّة حرارياً. ويقوم المجال بدفع ما موجود في داخل طبقة الاستنزاف من الالكترونات آنفة الذكر الى داخل منطقة n. هذه العمليّة تقلل شدّة المجال قليلاً

وتسمح لأعداد قليلة من الحاملات الأقلية أن تنتشر من اليمين الى اليسار لتعيد المجال الى شدته الأصلية.

وإليك الصورة النهائية للتوازن عند الوصلة:

1. قليل من الحاملات تنساق عبر الوصلة وبذلك تقلل المجال ولو.
2. قليل من الحاملات الاغلبية تنتشر عبر الوصلة وتعيد المجال الى قيمته الأصلية.

إنّ وجود مجال بين أيونات يكافئ وجود فرق جهد، يدعى فرق الجهد هذا بالجهد الفاصل أو الحاجز barrier potential، لاحظ الشكل (1b). عند درجة حرارة (25°c) يساوي الجهد الحاجز (0.3V) تقريباً في ثنائيات الجيرمانيوم و (0.7V) في ثنائيات السليكون.

تأثيرات درجة الحرارة

يعتمد الجهد الحاجز على درجة حرارة الوصلة. درجات الحرارة العالية تنتج المزيد من أزواج «الكترون - فجوة». وبالنتيجة يزداد انسياق الحاملات الأقلية عبر الوصلة مما يؤدي الى حصول التوازن عند جهد حاجز أقل.

وكدليل، سنستخدم التقريب التالي للتغيرات في الجهد الحاجز:

يقل الجهد الحاجز بمقدار (2.5mV) عند إزدياد درجة الحرارة درجة مئوية واحدة في كل من ثنائيات الجيرمانيوم والسليكون. وبالرموز يكون التغير في الجهد الحاجز:

$$\Delta\Gamma = -0.0025\ \Delta T$$

حيث تعني Δ («التغير في»)، T درجة الحرارة، Γ الجهد الحاجز.

* مثال: إحسب الجهد الحاجز لثنائي سليكون عند درجة حرارة (75°c).

الحل: إنّ الجهد الحاجز لثنائي سليكون يساوي (0.7V) عند درجة حرارة مقدارها (25°c). وعندما ترتفع درجة الحرارة الى (75°c) يقل الجهد الحاجز. مقدار هذا النقصان يمكن حسابه باستخدام المعادلة:

$$\Delta\Gamma = -0.0025\ \Delta T$$

$$\therefore \Delta\Gamma = -0.0025\ (75 - 25) = -0.125\ V$$

لذلك يكون الجهد الحاجز عند درجة حرارة (75°c)

$$\Gamma = 0.7 - 0.125 = 0.575\ V.$$

بسم الله الرحمن الرحيم

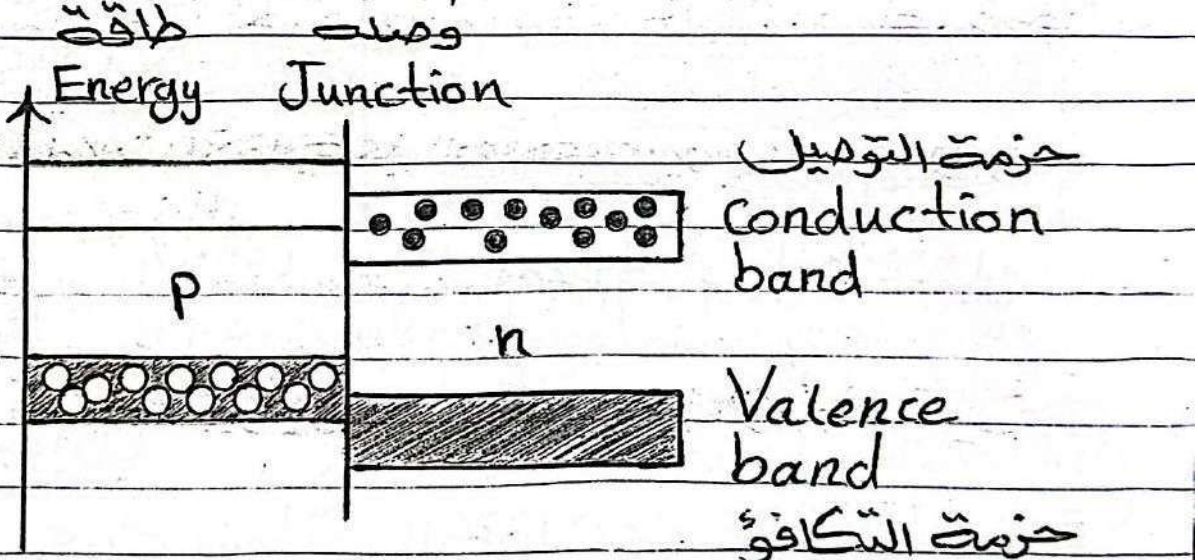
22

2.2 تل الطاقة :

دعنا نلقي نظرة ختامية على الثنائي غير المنحاز من وجهة نظر الطاقة. وهذا سيمهد إدراكاً أكبر لما يحدث عند الوصلة.

قبل الانتشار

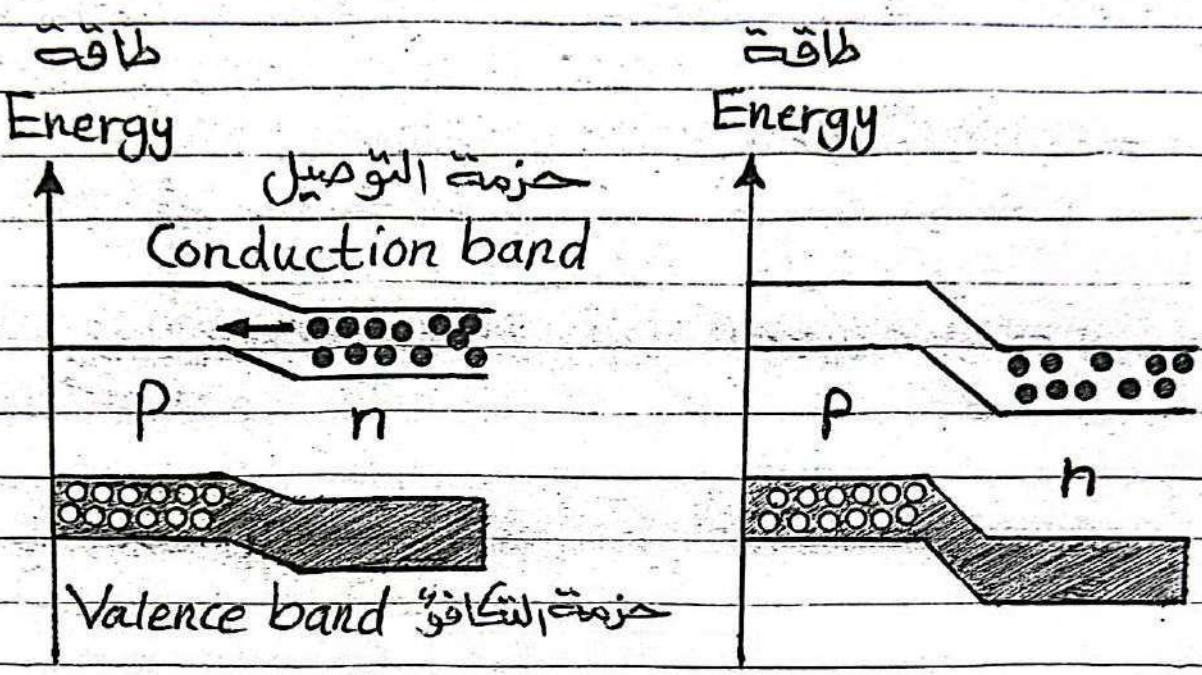
على فرض وجود وصلة فجائية (وهي تلك الوصلة التي تتغير فجأة من مادة p الى مادة n). كيف يظهر مخطط الطاقة؟ الشكل (2) يبين حزم الطاقة قبل إنتشار الالكترونات عبر الوصلة. تحوي جهة p على العديد من الفجوات في حزمة التكافؤ. وتحوي جهة n العديد من الالكترونات في حزمة التوصيل. ولكن لماذا تكون حزم p أعلى قليلاً من حزم n ؟



شكل (2) حزم الطاقة قبل الانتشار

الجهة p فيها ذرات ثلاثية التكافؤ لها شحنة لب مقدارها (+3). من جهة أخرى، فان الجهة n فيها ذرات خماسية التكافؤ ولها شحنة لب مقدارها (+5). إن لباً شحنته (+3) يجذب الكتروناً ما أقل مما يجذبه لباً آخراً شحنته (+5). ولهذا السبب فان المدارات في ذرة ثلاثية التكافؤ (جهة p) تكون اكبر بقليل من مدارات ذرة خماسية التكافؤ (جهة n). وهذا سيشرح سبب كون حزم p في الشكل (2) أعلى بقليل (طاقة اكبر ونصف قطر اكبر) من حزم n.

إنّ الوصلة الفجائيّة هي شيء مثالي لأنّ جهة p لا تنتهي تماماً عندما تبدأ جهة n. لذلك، فإن صورة أفضل تسمح بتغيير تدريجي من مادة إلى أخرى. وكتقريب أول، الشكل (3a) يبين مخطط الطاقة لوصلة قبل حصول عملية الانتشار.



(a) الحزم قبل الانتشار (b) الحزم بعد الانتشار

الشكل (3)

عند التوازن

ماذا يحدث عندما تعبر الكترونات حزمة التوصيل الوصلة؟ إنّ الالكترونات الموجودة في أعلى حزمة توصيل n تعبر الوصلة كما شرحنا ذلك سابقاً. إنّ هذا لا ينتج عنه طبقة الاستنزاف فحسب، بل يغيّر مستويات الطاقة في منطقة الوصلة. الشكل (3b) يبين مخطط الطاقة بعد أن يتم التوازن، لاحظ أنّ حزم p قد تحركت إلى الأعلى نسبة إلى حزم n. وفي الحقيقة أنّ أسفل كل حزمة من حزم p تكون على مستوى أعلى منسوب لحزمة n المقابلة. إنّ هذا يعني أنّ الالكترونات الموجودة في جهة n لم تعد لها الطاقة الكافية لكي تعبر الوصلة. وفيما يلي شرح مبسّط لسبب ذلك.

عندما يعبر الكترون ما الوصلة يملأ فجوة إحدى الذرات الثلاثية التكافؤ. إنّ هذا الالكترون الإضافي يرفع مدار حزمة التوصيل بعيداً عن الذرّة الثلاثية التكافؤ، ولذلك فان أي الكترون آخر يأتي الى المنطقة يحتاج الى طاقة أكبر من السابق ليدخل الى مدار نطاق التوصيل. وهذا يطابق القول بأنّ حزم p تحركت الى الاعلى نسبة الى حزم n بعد أن تكون طبقة الاستنزاف قد تكونت.

عند التوازن، تنتقل الكترونات نطاق توصيل الجهة n في مدارات غير وافية الكبر بحيث توافق مدارات جهة p. وبعبارة أخرى، فان الالكترونات في الجهة n تمتلك الطاقة الكافية لكي تعبر الوصلة. فالطريق الذي يجب على الالكترون أن يسلكه حين محاولته عبور الوصلة يظهر كتل للطاقة energy hill (لاحظ الشكل 3b). وبذلك فلا يستطيع الالكترون أن يتسلّق هذا التل مالم يتسلّم طاقة من مصدر خارجي.

2.3 الانحياز الأمامي:

الشكل (4a) يبيّن مصدراً مستمراً مربوطاً بين نهايتي الثنائي. لاحظ أنّ طرف المصدر السالب مربوط بالمادة نوع n وأنّ الطرف الموجب مربوط بالمادة نوع p ويدعى هذا الربط إنحياز أمامي forward bias.

تيار أمامي كبير

إنّ التيار يمر بسهولة في دائرة تشبه الشكل (4a). لماذا؟ في البداية، عندما تتحرك الكترونات حزمة التوصيل هذه باتجاه الوصلة. تصبح نهاية البلورة اليمنى موجبة قليلاً. وهذا يجعل كل الالكترونات في جهة البلورة اليمنى تتحرك باتجاه الوصلة مخلّفة وراءها ذرات موجبة الشحنة. وهكذا تقوم الذرات المشحونة بشحنات موجبة بسحب الكترونات الى البلورة من طرف المصدر السالب.

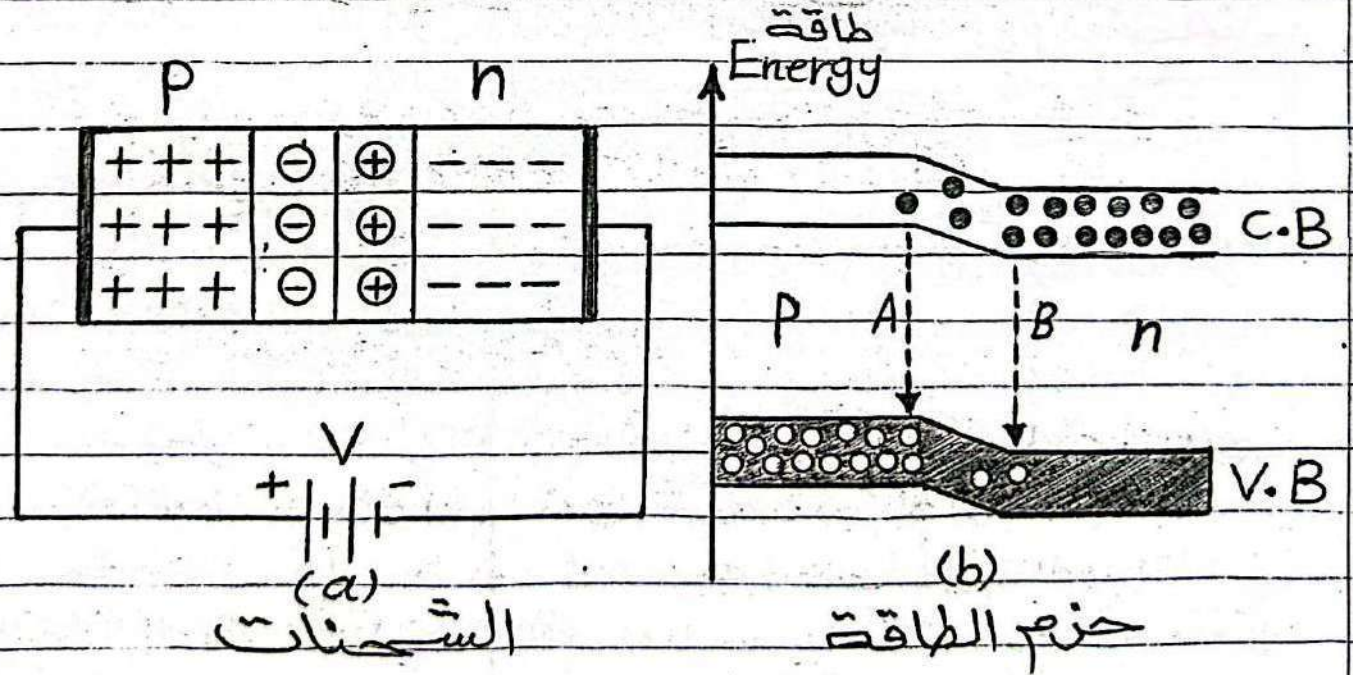
عندما تصل الكترونات الجهة n الى الوصلة، تعيد التحام ما يقابلها. تتم إعادة الالتحام هذه على مسافات مختلفة من الوصلة، تعتمد على مدى إستطاعة الكترون حزمة التوصيل تجنب السقوط في فجوة. إنّ أرجحيّة حدوث إعادة الالتحام قرب الوصلة كبير. وكتقريب أول، نستطيع تصوّر جميع الكترونات حزمة التوصيل تعيد التحامها عند وصولها الى الوصلة.

عندما ننظر الى الشكل (4a)، نرى الكترونات تنصب في جهة البلورة اليمنى بينما تتحرك جميع الالكترونات في منطقة n باتجاه الوصلة. وحينما تتراكم هذه المجموعة المتحركة بالوصلة، تختفي حافرة اليسرى (تستقطب الالكترونات في الفجوات). وهكذا فهناك سيل مستمر من الالكترونات قادم من طرف المصدر السالب باتجاه الوصلة.

ماذا يحمل الالكترونات حزمة التوصيل هذه التي تختفي عند الوصلة؟ إنها تصبح الكترونات تكافؤية. والالكترونات تكافؤية، تستطيع التنقل خلال فجوات الجهة p. إننا نستطيع ان نصوّر الالكترونات التكافؤية على الجهة p والتي تتحرك الى نهاية البلورة اليسرى بما يكافئ فجوات تتحرك الى اليمين. عندما تصل الكترونات التكافؤ نهاية البلورة اليسرى، تغادر البلّورة عابرة الى طرف المصدر الموجب.

فيما يلي مشهد لما يحمله الالكترون في الشكل (4a)

1. يدخل النهاية اليمنى للبلّورة بعد مغادرته طرف المصدر السالب.
2. يتنقّل خلال المنطقة n كالكترون حزمة توصيل.
3. قريباً من الوصلة، يعيد التحامه ويصبح الكتروناً تكافؤياً.
4. يتنقّل خلال المنطقة p كالكترون تكافؤي.
5. بعد مغادرته نهاية البلّورة اليسرى يسير الى طرف المصدر الموجب.



شكل (4) إنحياز أمامي