بسم الله الرحمن الرحيم

حزم الطاقة

إنّ الانحياز الأمامي يُخفّض تل الطاقة (أنظر الشكل 4b). ولهذا السبب تمتلك الكترونات حزمة التوصيل طاقة كافية لغزو المنطقة p. وحالاً بعد دخول المنطقة p. يسقط كل الكترون في فجوة (الطريق A). وكالكترون تكافؤي، يواصل رحلته الى نهاية البلّورة اليسرى.

قد يسقط الكترون حزمة التوصيل في فجوة قبل عبوره الوصلة. ففي الشكل (4b). قد يعبر الكترون تكافؤي الوصلة من اليمين الى اليسار، وهذا يخلّف فجوة الى يمين الوصلة تماماً. إنّ هذه الفجوة لا تعيش طويلاً، فسرعان ما تشغل بالكترون حزمة توصيل (الطريق B).

لا يهم أين تحدث إعادة الالتحام لأنّ النتيجة هي نفسها: سيل ثابت من الكترونات حزمة التوصيل يتحرك باتجاه الوصلة ويسقط في فجوات بالقرب منها. هذه الالكترونات المتنقلة (والتي أصبحت الكترونات تكافؤيّة) تتحرك الى اليسار بسيل ثابت خلال الفجوات في منطقة p. وبهذه الطريقة نحصل على تدفق مستمر من الالكترونات خلال الثنائي.

2.4 الانحياز العكسي:

باستدارة المصدر المستمر، تحصل على ثنائي في حالة إنحياز عكسي reverse_bias كما مبيّن في الشكل (5a). هل يستمر الثنائي بالتوصيل؟ ماذا يحصل لطبقة الاستنزاف؟ ولحزم الطاقة؟

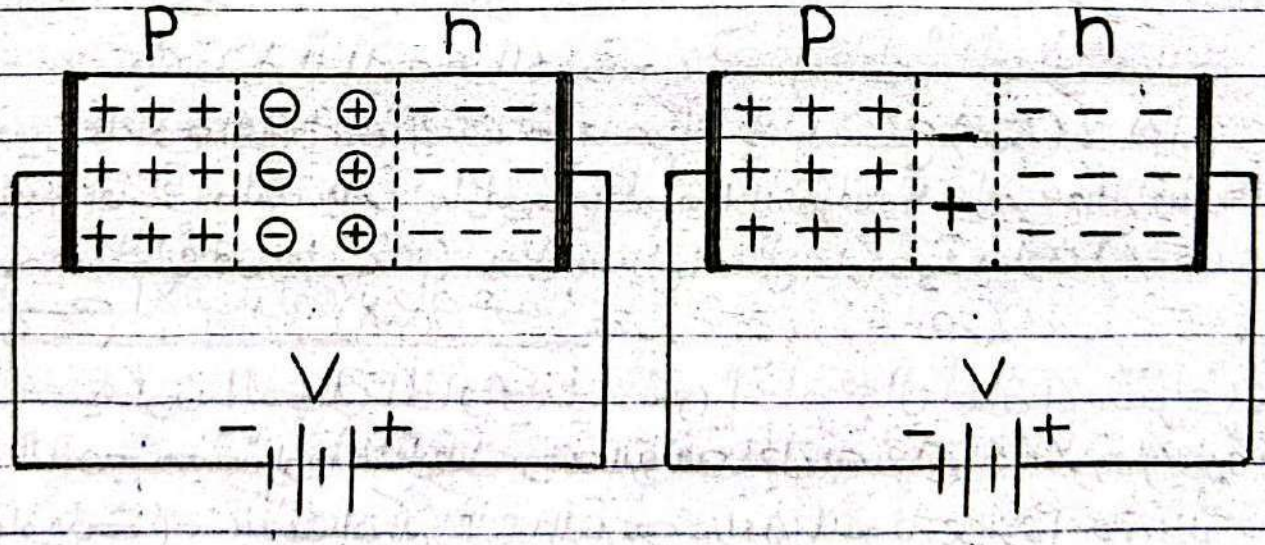
طبقة الاستنزاف تزداد عرضاً

يكون المجال الخارجي في نفس إتجاه مجال طبقة الاستنزاف. لهذا السبب. تتحرك الفجوات والالكترونات باتجاه نهايتي البلورة (بعيداً عن الوصلة). تخلّف الالكترونات الهاربة وراءها أيونات موجبة. وتخلّف الفجوات المغادرة أيونات سالبة. لهذا السبب يزداد عرض طبقة الاستنزاف. كلّما إزداد الانحياز العكسي، زاد عرض طبقة الاستنزاف.

إلى أي حد يزداد عرض طبقة الاستنزاف؟ في الشكل (5a) عندما تتحرك الفجوات والالكترونات بعيداً عن الوصلة، فإنّ الأيونات الجديدة تزيد من فرق الجهد على طبقة الاستنزاف. وكلّما زاد عرض طبقة الاستنزاف كبر فرق الجهد. ويتوقف نمو طبقة الاستنزاف عندما يساوي فرق جهدها الفولتية العكسيّة المسلّطة.

تيار العبور الزائل

ما مقدار التيار الموجود في ثنائيّ منحاز عكسياً؟ بينما تكيّف طبقة الاستنزاف عرضها الى العرض الجديد. تتحرك الفجوات والالكترونات بعيداً عن الوصلة. هذا يعني أنّ الالكترونات تجري من طرف المصدر السالب الى النهاية اليسرى للبلورة. وفي نفس الوقت، تغادر الكترونات النهاية اليمنى البلوره وتجري الى طرف المصدر الموجب. وعليه فان تياراً يجري في الدائرة الخارجيّة في نفس الوقت الذي تضبط طبقة الاستنزاف نفسها الى العرض الجديد. إنّ تيار العبور الزائل transient هذا يصبح صفراً بعدما يقف نمو طبقة الاستنزاف. ويستغرق عادة تيار العبور هذا بضع نانو ثانية.



(a) الشحنات

(b) الحاملات الاقليّة

شكل (5) إنحياز عكسي

تيار الحاملات الأقليّة

هل هناك أي تيار آخر بعد أن تستقر طبقة الاستنزاف؟ نعم. هناك تيار صغير يسري. فالطاقة الحراريّة تنتج أزواج «الكترون - فجوة». بعبارة أخرى. هناك عدد قليل من حاملات الاقليّة على طرفي الوصلة يلتحم معظمه مع حاملات الاغلبيّة. لكن تلك الموجوده داخل طبقة الاستنزاف قد تعيش وقتاً يمكنها من عبور الوصلة، وعندما يتم هذا يسري تيار صغير في الدائرة الخارجيّة.

الشكل (5b) يوضّح الفكرة. فعندما يتولّد زوج «الكترون-فجوة» داخل طبقة الاستنزاف، فان المجال يدفع الالكترون الى اليمين مرغماً الكتروناً واحداً على مغادرة نهاية البلورة اليمنى. أمّا الفجوة في طبقة الاستنزاف فتدفع الى اليسار، هذه الفجوة الاضافيّة في الجهة p، تدع الكتروناً يدخل النهاية اليسرى للبلّورة حيث يسقط فيها. وبما أنّ الطاقة الحراريّة تنتج أزواج «الكترون - فجوة» قرب الوصلة باستمرار، فهناك تيار صغير مستمر في الدائرة الخارجيّة.

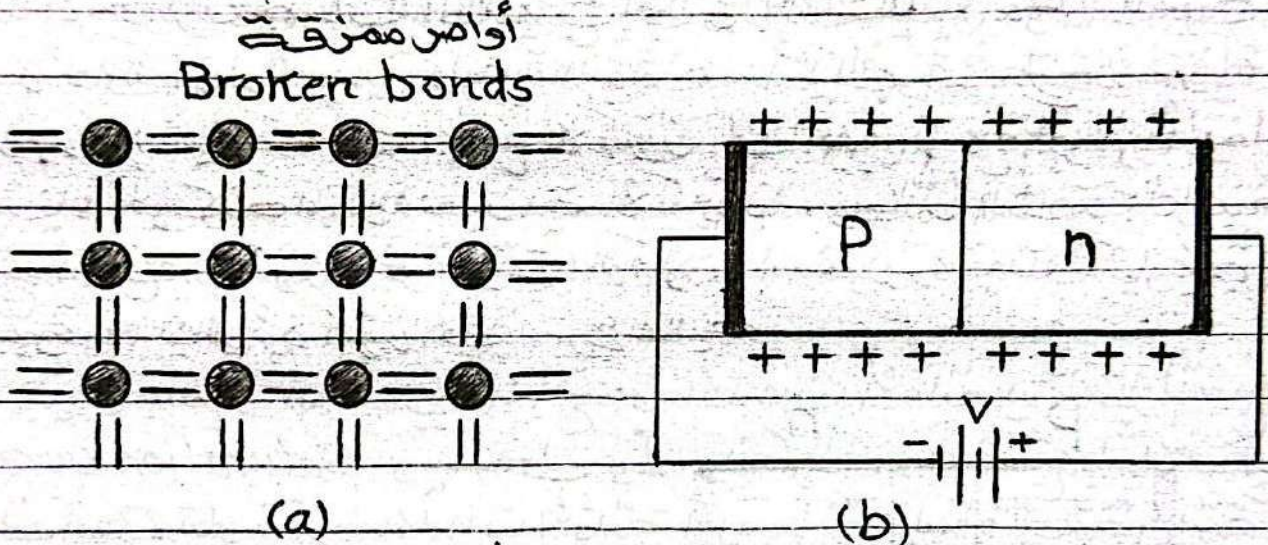
إنّ التيار العكسي الناتج عن الحاملات الأقليّة يدعى تيار التشبّع Saturation current ويسمى I_s. وذكرنا الاسم تشبّع باننا لا نستطيع أن نحصل على تيار ناتج من الحاملات الأقليّة أكبر مما تنتج بواسطة الطاقة الحراريّة. وبعبارة أخرى، فان زيادة الفولتية العكسيّة لن تؤدي الى زيادة عدد الحاملات الاقليّة الناتجة عن الحرارة.

الطاقة الحراريّة تنتج تيار تشبّع. وكلّما زادت درجة الحرارة، كبر تيار التشبّع وهناك قاعدة عمليّة جيّدة تستحق التذكّر هي: يتضاعف I_s تقريباً مع كل زيادة في درجة الحرارة قدرها ($10^\circ c$). فعلى سبيل المثال، لو كان I_s يساوي ($5nA$) عند ($25^\circ c$) فسيساوي ($10nA$) تقريباً عند ($35^\circ c$) و($20nA$) عند ($45^\circ c$) و ($40nA$) عند ($55^\circ c$) وهكذا.

وكما أشرنا سابقاً، فان الطاقة الحراريّة تنتج الحاملات الأقليّة في ثنائيات السليكون باعداد أقل مما تنتج في ثنائيات الجيرمانيوم. وبعبارة أخرى، فان I_s في ثنائي السليكون يقل بكثير عنه في ثنائي الجيرمانيوم. هذه الميزة العظيمة للسليكون هي إحدى الاسباب التي جعلته يسود مجال شبه الموصل.

تيار التسرّب السطحي

علاوة على تيار العبور وتيار الحاملات الأقليّة. هل يوجد هناك أي تيار آخر يسري في الثنائي المنحاز عكسياً؟ نعم، فهناك تيار صغير يجري على سطح البلّورة. وندعو هذا الجزء بتيار التسرّب السطحي Surface leakage current. إنّ التركيب الحقيقي لهذا التيّار غير معروف تماماً بالرغم من إعتقاد الكثير بإنّه ناتج عن عدم كمال السطح والشوائب الموجودة عليه.



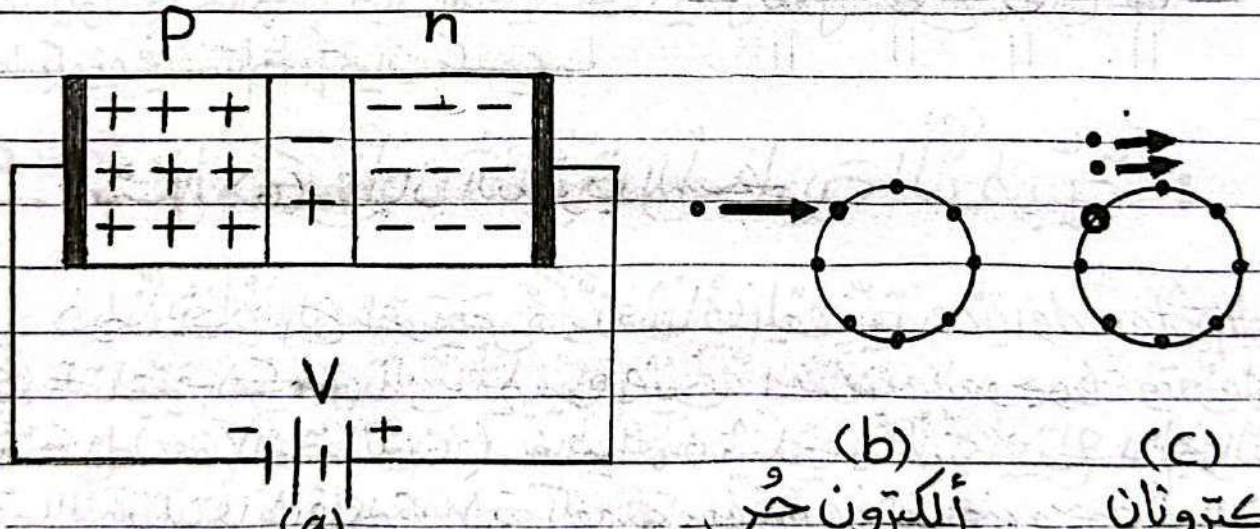
شكل (6) تيار التسرّب السطحي

فيما يلي شرح لطريقة يتبيّن فيها كيف يتكوّن التيار السطحي نتيجة لعدم كمال السطح. إفرض أنّ الذرّات الموجودة في أعلى الشكل (6a) هي ذرّات على سطح البلّورة. وحيث أنّه لا يوجد جيران فوقها، لذلك فان أواصرها التساهميّة ممزّقة، وهذا يعني وجود فجوات. تصوّر هذه الفجوات على طول سطح البلّورة كما مبيّن في الشكل (6b). وبالنتيجة، فانّ قشرة البلّورة تشبه شبه موصل نوع p. ولهذا السبب، تستطيع ألكترونات أن تدخل نهاية البلّورة اليسرى وتتنقل خلال فجوات السطح ثم تغادر النهاية اليمنى للبلورة. وهكذا نحصل على تيار عكسي صغير على طول السطح، يزداد هذا التيار بازدياد الفولتيّة العكسيّة.

فولتيّة الانكسار

إستمر في زيادة الفولتية العكسيّة، تصل أخيراً الى فولتيّة الانكسار break-down Voltage. تكون فولتية الانكسار عادة أكبر من (50V) لثنائيات التقويم rectifiers (وهي الثنائيات التي صنعت لتوصل بإتجاه أحسن من الاتجاه الآخر). ومال الوصول الى فولتية الانكسار، تظهر أعداد كبيرة من حاملات الاقليّة في طبقة الاستنزاف وبذلك يكون توصيل الثنائي غزيراً.

من أين جاءت الحاملات فجأة؟ الشكل (7a) يبيّن زوج «الكترون - فجوه» داخل طبقة الاستنزاف قد نتج عن الحرارة وبوجود إنحياز عكسي، يرفع الالكترون الى اليمين وترفع الفجوه الى اليسار وأثناء حركته، تزداد سرعة الالكترون. وكلّما اشتد مجال طبقة الاستنزاف، تسارعت حركة الالكترون. وعند فولتيات عكسيّة كبيرة، يصل الالكترون الى سرع عالية.



(c) ألكترونان حُرّان

(b) ألكترون حُر يصدم إلكترونات تكافؤيّة

(a) الحاملات الاقليّة في طبقة الاستنزاف

شكل (7) الانكسار

إنّ هذا الالكترون ذو السرعة العالية قد يتصادم مع الكترون تكافؤي، أنظر الشكل (7b). لو كانت طاقة الالكترون ذي السرعة العالية كافية، يستطيع أن يطلق الالكترون التكافؤي الى مدار نطاق توصيل. بذلك يصبح

ألكترونان في نطاق التوصيل كما مبيّن في الشكل (7ج). وهكذا فان هذين الالكترونين سيتجمّعان وقد يستمرّان في زحزحة الكترونين آخرين. بهذه الطريقة قد يصبح عدد الحاملات الاقلية كبيراً جداً ويصبح توصيل الثنائي عزيزاً.

إنّ معظم الثنائيات لا يسمح لها أن تصل الى الانكسار. وبعبارة أخرى، فان الفولتية العكسيّة المسلّطة على الثنائي يجب أن تبقى أقل من فولتية الانكسار.

خلاصة

فيما يلي أمران يجب أخذهما بالحسبان:

1. الثنائي المنحاز أمامياً يوصل بسهوله.
2. الثنائي المنحاز عكسياً يوصل بضعف.

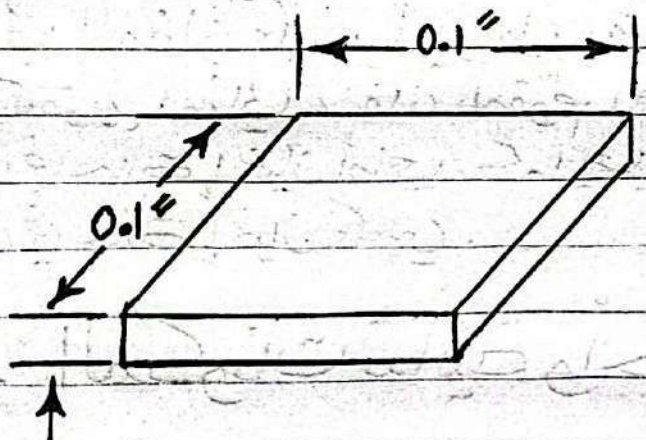
وكتقريب مثالي، فان المقوّم يعمل عمل مفتاح مغلق ON عندما يكون في حالة إنحياز أمامي. كما يعمل عمل مفتاح مغلق OFF عندما يكون في حالة إنحياز عكسي.

2.5 المكونات ثنائيّة وأحادية القطبيّة:

إنّ ثنائي الوصلة يعتبر مكوّن ثنائي القطبيّة dipolar device (ثنائي القطبيّة هو مختصر لقطبين إثنين two polarities وتعوّض البادئة di عن كلمة اثنين). فالمكون ثنائي القطبيّة يحتاج الى الجزيئات والى الكترونات نطاق التوصيل لكي يعمل بصورة صحيحة.

بعض المكونات تكون أحادية القطبيّة unipolar، فهي تحتاج إمّا الى الجزيئات أو الالكترونات لتعمل بصورة صحيحة. فعلى سبيل المثال الاخير يعتبر المقاوم الكاربوني مكون أحادي القطبيّة حيث يستعمل الإلكترونات فقط. ولو أردنا لصنعنا مقاوم من شبه موصل نوع p يكون أحادي القطبيّة أيضاً.

الترانزستورات ثنائية القطبية أقدم وأوسع إنتشاراً وأقل كلفة، بينما تكون الترانزستورات أحادية القطبية مهمة في بعض التطبيقات الخاصة. (تدعى ترانزستورات تأثير المجال أو FETs).
الشكل (8) يبين شريحة chip، وهي قطعة صغيرة من مادة شبه موصلة. الابعاد هنا نموذجية. حيث تكون الشرائح عادة أصغر من هذه، وأحياناً تكون أكبر. باستخدام تقنية تصوير عالية، يستطيع المصنع أن ينتج دوائر على سطح الشريحة حيث تحوي الدوائر العديد من الثنائيات والمقاومات والترانزستورات ... الخ. ولقد إنتهاء الشبكة تتابع الى ماكروسكوبي لرؤية التوصيلات لانها تكون صغيرة جداً. وندعو مثل هذه الدائرة بالدائرة المتكاملة.



شكل (8) شريحة شبه موصلة

وأخيراً الدائرة المنفصلة discrete circuit هي تلك النوع من الدوائر التي تبنيها عندما تربط مقاومات ومتسعات وترانزستورات مختلفة ... الخ، وكل جزء تضيفه الى الدائرة يكون منفصلاً ومتميزاً عن الآخرين. وهذا يختلف عن الدائرة المتكاملة حيث تكون الأجزاء جزءاً ذرياً من شريحة شبه الموصل.