مكتبة الفريد الإلكترونية

بسم الله الرحمن الرحيم

مقالة في

وصلة P-N

P-N Junction

ترجمة للفصل الثاني من كتاب تقريبات دوائر الترانزستور
Transistor circuit approximation
للمؤلف مالفينو malvino
(الطبعة الثانية)

أسامة عمر مسعود العِشّي

الجميل - ليبيا

حقوق النشر غير محفوظة

لفهم كيف يعمل الترانزستور في الدوائر المختلفة ، فإنه من الضروري أولاً فهم كيفية عمل ثنائي شبه الموصل المثالي . سنبدأ في هذا الفصل بربط شريحة من شبه الموصل من النوع الموجب P-type مع شريحة أخرى من النوع السالب N-type ، نتيجة هذا العمل هو الحصول على وصلة ثنائي Diode junction . بعدها سنناقش لماذا أن الوصلة تتصرف وكأنها ثنائي، ثم سندرس الخصائص المثالية لهذا لثنائي .

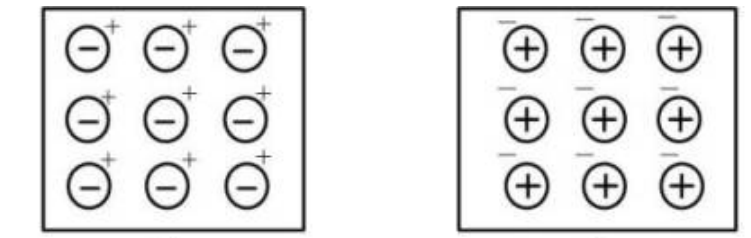
دراستنا في هذا الفصل ستتركز على فهم العديد من المواضيع المتعلقة بسلوك الثنائي لأننا سنحتاجها في دراستنا القادمة لدوائر الترانزستور .

وصلة P-N

نحن نعلم أن شريحة P-type تملك أغلبية من الفجوات أنتجت بفعل عملية التطعيم التي ذكرناها سابقاً ، وأيضاً تملك عدداً قليلاً من الإلكترونات الحرة التي أنتجتها الطاقة الحرارية. وعلى هذا فإن شريحة N-type تملك أغلبية من الإلكترونات ، مع أقلية من الفجوات التي أنتجتها الطاقة الحرارية .

في الشكل (2-1-أ) رمزنا للشريحة الموجبة لشبه الموصل بالإشارة الموجبة التي تمثل الفجوات التي لها الحرية في التحرك بداخل البلورة ، أما الدوائر التي بها إشارة سالبة فهي تمثل ذرات ارتبطت بهذه الفجوات ، وهكذا .

إذا تحركت الفجوات بعيداً عن الذرة المرتبطة بها ، فإن هذه الفجوات ستصبح لها شحنة سالبة ، لاحظ أن الذرة التي لها شحنة سالبة لن تكون لها حرية الحركة بداخل التركيب البلوري ، هذه الذرة ستحجز في الموضع لأنها جزء من التركيب البلوري . إذاً في الشكل (2-1-أ) الإشارة الموجبة تمثل الشحنة الموجبة والتي لها حرية الحركة ، حيث أن الدوائر التي تحتوي على الإشارة السالبة تمثل ذرات مشحونة بالشحنة سالبة **ثابتة!!** .



حاملات التيار والذرات الثابتة

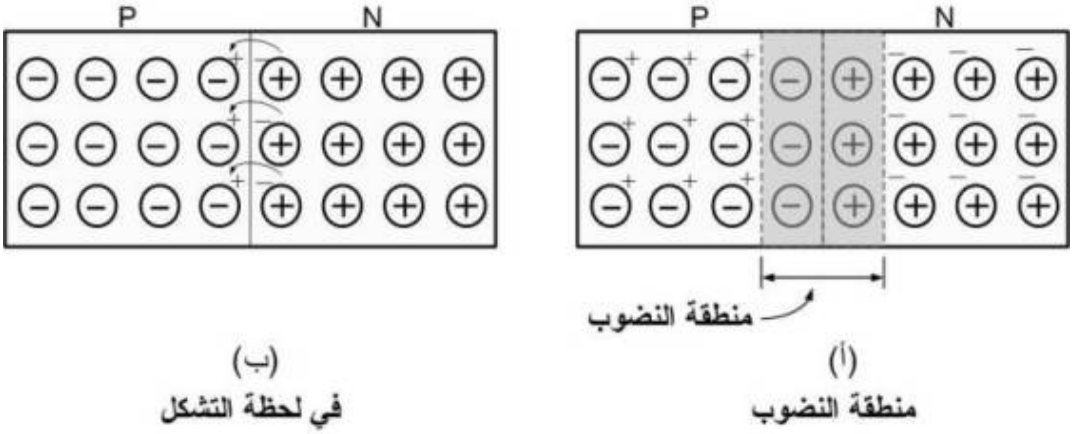
الشكل (2-1)

بنفس الكيفية في الشكل (2-1-ب) حيث يظهر في الشكل شريحة من مادة شبه موصل من النوع السالب N-type ، هنا الإشارة السالبة ترمز إلى الإلكترونات الحرة ، بينما الدوائر التي بها إشارة موجبة فهي ترمز إلى الذرات التي ارتبطت بها هذه الإلكترونات . لاحظ عندما تتحرك الإلكترونات الحرة بعيداً عن الذرات المرتبطة بها فإنها ستترك الشحنة الموجبة من ورائها ، ومرة أخرى فإن الذرة المشحونة بالشحنة الموجبة ليست حرة الحركة، أي أنها ضمن التركيب البلوري .

إلى حد هذه اللحظة سوف نتجاهل الحاملات الأقلية في كلا نوعي شبه الموصل (النوع الموجب والنوع السالب) ، أي أننا لن نظهر الأعداد القليلة من الإلكترونات الحرة في شريحة النوع الموجب لشبه الموصل P-type ، أو الأعداد القليلة من الفجوات في شريحة النوع السالب لشبه الموصل . ولكن دعنا نتذكر أن هناك القليل من حاملات الشحنات الأقلية التي أنتجتها الطاقة الحرارية في كل من نوعي شبه الموصل.

بسبب التقنيات الصناعية المختلفة استطاع المصنعون إنتاج بلورة منفردة بنوع واحد من مادة شبه الموصل في جانب واحد ، بينما الجانب الآخر من البلورة يحتوي على النوع الآخر من مادة شبه الموصل . السؤال الذي يطرح نفسه هنا هو : هل هناك شيء غير اعتيادي يمكن أن يحدث في وصلة بين النوع الموجب والنوع السالب لشبه الموصل ؟ للإجابة على هذا السؤال انظر إلى الشكل (2-2- ب) . في هذه اللحظة نرى أن الوصلة قد تشكلت ، الفجوات ما زالت متبقية في النوع الموجب لشريحة شبه الموصل ، والإلكترونات الحرة هي الأخرى مازالت متبقية في النوع السالب لشريحة شبه الموصل ، هذه الشحنات لها الحرية في الحركة ، وكنتيجة لذلك فإن هذه الحركة ستكون عشوائية في كل الاتجاهات . بعض من هذه الإلكترونات الحرة والفجوات سوف تتجه باتجاه الوصلة junction ويحدث لها ارتباط recombine ، عند حدوث الارتباط فإن الشحنات الحرة لن تظهر في منطقة الارتباط ، وعندها ستتحول منطقة الارتباط الضيقة إلى ما يسمى بمنطقة النضوب Depletion region (لاحظ الشكل (2-2- أ)) . في هذه المنطقة لن يظهر أي من الإلكترونات الحرة أو الفجوات ، ولكن فقط الذي سيظهر هو تلك الذرات المشحونة بالشحنات الموجبة والأخرى المشحونة بالشحنات السالبة .

وبما أن منطقة النضوب ستزداد في الاتساع فإن فرق الجهد فيها سيزداد ، وذلك لأنه توجد ذرات ذات شحنات موجبة في الجانب الأيمن من الوصلة وذرات ذات شحنات سالبة في الجانب الأيسر من الوصلة . وفي النهاية فإن هذا الجهد سيصبح كبيراً لأن يمنع حركة الإلكترونات والفجوات عبر الوصلة . لفهم كيفية حدوث ذلك لاحظ الشكل (2-2- ب) الذي سيكون فيه المجال الكهربائي موجود في منطقة الوصلة ، واتجاه هذا المجال سيكون من اليمين إلى اليسار .



الوصلة P-N

الشكل (2-2)

هذا المجال سيكون مدفوع بواسطة العمود السالب للذرات المتأينة في الجانب الأيسر ، ويكون أيضاً مجذوباً بواسطة العمود الموجب للذرات المتأينة في الجانب الأيمن من

الوصلة. بمعنى آخر فإن الإلكترونات الحرة ستدفع بعيداً عن الوصلة في الجانب الأيمن منها ، وأيضاً لو حاولت الفجوات في الجانب الأيسر من الوصلة من التحرك عبر الوصلة فإنها ستواجه قوة دفع ترجعها من حيث أتت .

فرق الجهد هذا يدعى بجهد الإعاقة Barrier Potential . ولقد وجد أن قيمة هذا الجهد في درجة حرارة الغرفة (حوالي 25 م°) يساوي تقريباً 0.3 فولت بالنسبة لبلورة الجرمانيوم و 0.7 فولت بالنسبة لبلورة السليكون .

الآن سنلخص بعض النقاط الرئيسية في مناقشتنا السابقة كالتالي :

1- بعد التشكل الأولي للوصلة P-N فإن الإلكترونات الحرة والفجوات التي ستعبر الوصلة سيحدث لها إعادة ارتباط Recombination .
2- ستظهر في منطقة التقاء نوعي شبه الموصل منطقة تدعى بمنطقة النضوب Depletion Region ، والتي بشكل أساسي لا تملك أية شحنات حرة . بل إنها عبارة عن ذرات مشحونة وثابتة .
3- الذرات المشحونة في منطقة النضوب ستكون جهد الإعاقة الذي يمنع حركة الإلكترونات الحرة والفجوات عبر الوصلة .

خواص التقويم للوصلة P-N

يمكن استخدام بلورة P-N كثنائي لأنها تسمح بمرور التيار بسهولة أكثر في اتجاه أكثر من الاتجاه الآخر . ولفهم سبب ذلك انظر إلى الشكل (2 – 3) حيث نرى أن البطارية قد وصلت إلى طرفي البلورة P-N ، إلى هنا سنتجاهل الحاملات الأقلية في كلا جانبي الوصلة.

إن جهد الإعاقة مازال يعمل على إعاقة مرور الإلكترونات الحرة والفجوات من المرور عبر الوصلة ، جهد البطارية سيعمل على دفع الفجوات والإلكترونات الحرة للمرور عبر الوصلة ، هذا يعني أن كل الإلكترونات الحرة في الجانب السالب للوصلة N-type ستتحرك كلياً إلى اليسار ، وأيضاً فإن الإلكترونات الحرة الجديدة المدخلة بواسطة البطارية ستدخل إلى النهاية اليمنى للبلورة . وهكذا فإن مرور الإلكترونات الحرة سيكون بالسلك الموصل بالطرف السالب للبطارية .

الفجوات في الجانب الموجب للوصلة هي الأخرى ستقاد نحو الوصلة (أي تتحرك باتجاه اليمين) ، الفجوات الجديدة ستنشأ في النهاية السالبة للبلورة لأن الرابطة الإلكترونية قد غادرت الجانب الموجب للشريحة ودخلت في النهاية الموجبة للبطارية . النقطة المهمة التي يجب إدراكها هنا هي أن جهد البطارية قد تغلب على جهد الإعاقة ، وهذا هو ما شرع مرور الإلكترونات بداخل الدائرة الخارجية . سيستمر هذا التدفق لمرور التيار لأن الفجوات والإلكترونات الحرة التي ستتلاقى عند عبورها للوصلة سترتبط مع بعضها البعض Recombine .

حتى نفهم بشكل أفضل كيفية مرور التيار في الشكل (2-3) دعنا نتبع مسيرة إلكترون واحد داخل الدائرة، وهنا سنوضح ماذا يحدث تقريباً : الإلكترون الحر يغادر النهاية السالبة للبطارية ويدخل إلى الجانب السالب N-type لشريحة الوصلة Junction ، عندما يكون الإلكترون الحر في الجانب السالب لشريحة الوصلة فإنه سينقاد تحت تأثير جهد البطارية في اتجاه الوصلة . في مكان ما في جوار الوصلة فإن هذا الإلكترون سيعيد ارتباطه مع

فجوة وحيدة من الجانب الموجب لشريحة الوصلة لشبه الموصل ، عند حدوث هذا فإن الإلكترون الحر يصبح رابطة إلكترونية . ستنجرف هذه الرابطة إلى اليسار بواسطة التحرك في الفجوة المعدلة ، وهي الآن تنتقل إلى اليسار خلال الجانب الموجب لشبه الموصل حتى تصل على النهاية اليسرى للبلورة . وعند مغادرتها ودخولها إلى السلك فإن الرابطة الإلكترونية ستصبح شحنات حرة . عندها فإن الإلكترونات الحرة ستنساب خلال السلك إلى النهاية الموجبة للبطارية . هذا تقريباً ما يحدث في كل الإلكترونات التي تشارك في مرور التيار الكلي .

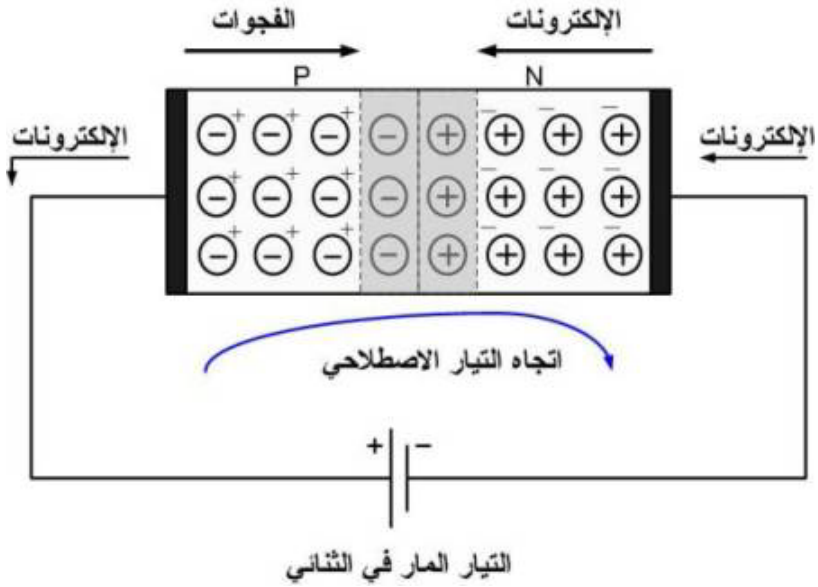
لاحظ أن حاملات التيار في داخل البلورة P-N هي الفجوات والإلكترونات الحرة . ولكن من ناحية ثانية فإنه في الدائرة الخارجية (في أسلاك البطارية) فإن الإلكترونات الحرة هي التي تتحرك فقط . لذلك لاحظ أن التيار الاصطلاحي يكون في اتجاه حركة الفجوات . من خلال الشكل (2-3) فإننا سنستخدم التيار الاصطلاحي كما هو موضح .

وكتذكير بسيط فإن التيار الاصطلاحي يتحرك في نفس اتجاه حركة الفجوات أو بمعنى آخر يسير في عكس اتجاه حركة الإلكترونات .

ربما الآن يدور في مخيلتك سؤالاً مفاده: ماذا يحدث لو أننا عكسنا قطبية البطارية كما في الشكل (2-4) ؟

عند عكسنا لقطبية البطارية فإن الفجوات التي في الجانب الموجب لشريحة الوصلة ستتحرك باتجاه اليسار، وكذلك الأمر في الإلكترونات الحرة التي في الجانب السالب لشريحة الوصلة ، حيث أنها ستتحرك نحو اليمين . وعلى هذا الأمر فإن منطقة النضوب سوف تتسع بمقدار تحرك الحاملات الأكثرية بعيداً عن الوصلة .

طبعاً سيكون هناك تيار يمر في الدائرة الخارجية ، ولكن هذا التيار لن يستمر في المرور لأجل غير مسمى وذلك لأن البطارية لن تنشئ أية فجوات أو إلكترونات حرة جديدة كما حصل في الشكل (2-3) . البطارية الآن ستعمل على إعانة جهد الإعاقة في منع الحاملات الأغلبية من التحرك عبر الوصلة .

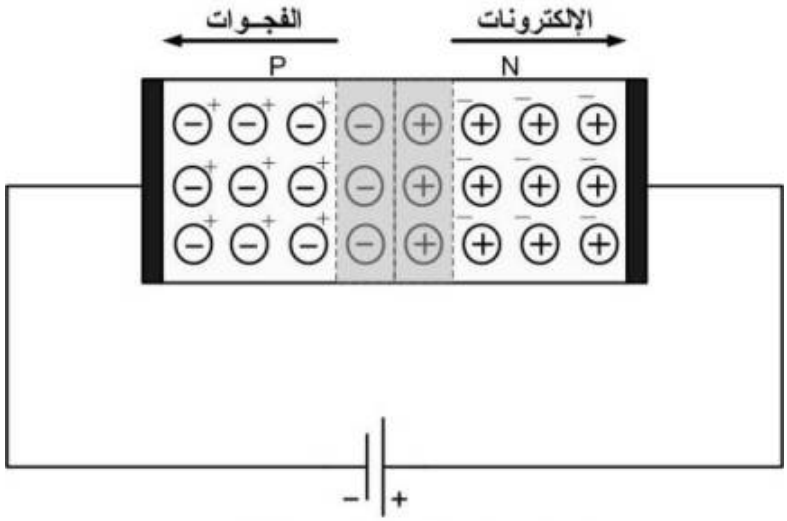


التيار المار في الثنائي

الشكل (2-3)

في الحقيقة توجد كمية صغيرة من التيار في الدائرة التي في الشكل (2-4) ، وبسبب تجاهلنا للحاملات الأقلية فلم نراها هنا في الشكلين (2-3) و (2-4) . إن الطاقة الحرارية ستعمل

على إنتاج بعض الإلكترونات الحرة في الجانب الموجب لشريحة الوصلة ، هذه الحاملات الأقلية ستنقاد بفعل تأثير البطارية لتعبر الوصلة . عندها سيتكون تيار صغير جداً في دائرة الانحياز العكسي لدرجة أنه يمكننا إهماله .



التيار المار في الثنائي (الانحياز العكسي)

الشكل (2-4)

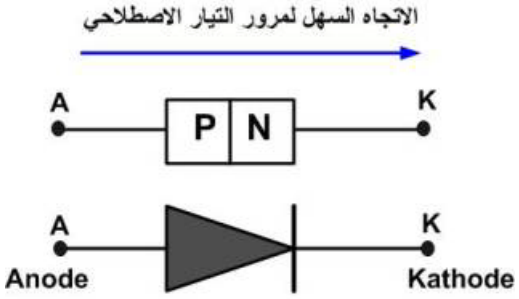
وهكذا فإن بلورة P-N ستتصرف كالثنائي ، حيث أنها تسمح بمرور التيار في اتجاه واحد فقط . وهذه بعض الملاحظات التي تلخص أغلب النقاط المهمة في هذا المقطع :

1- عندما توصل النهاية الموجبة للبطارية بالجانب الموجب لشريحة الوصلة فإن مرور التيار سيصبح سهلاً ، وذلك لأن جهد البطارية سيتغلب على جهد الإعاقة(شريطة أن تكون قيمته كافية للتغلب عليه) ، وسيعمل على تسيير الحاملات الأغلبية عبر الوصلة Junction . في هذه الحالة يمكننا القول بأن الدايود في حالة انحياز أمامي Forward Bias .

2- عندما توصل النهاية الموجبة للبطارية بالجانب السالب لشريحة الوصلة فإن تياراً قليلاً جداً سوف يمر لأن جهد البطارية سيعين جهد الإعاقة على منع الحاملات الأكثرية من التحرك عبر الوصلة . التيار القليل جداً هذا هو تيار الحاملات الأقلية . تحت هذه الشروط فإن الدايود سيكون في حالة انحياز عكسي Reverse Bias أو Back Bias .

خواص IV لثنائي شبه الموصل

ثنائي P-N ورمزه موضح في الشكل (2-5) . من خلال مناقشتنا في القسم السابق نحن عرفنا أن التيار يمر بسهولة عند توصيل النهاية الموجبة للبطارية بالجانب الموجب لشريحة الوصلة .

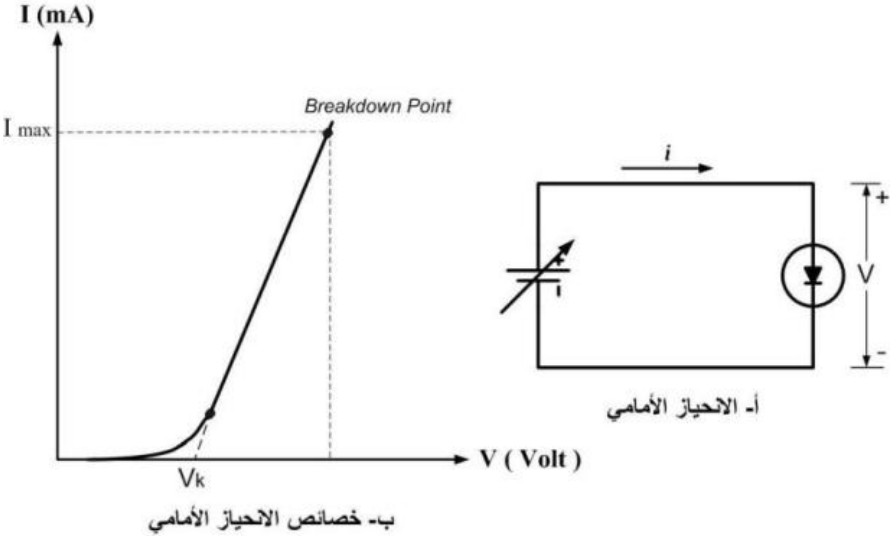


الرمز التخطيطي للثنائي

الشكل (2-5)

وهذا يعني أن التيار الاصطلاحي سيمر بسهولة من الجانب الموجب إلى الجانب السالب لشريحة الوصلة ، وكمساعدة للذاكرة لاحظ المثلث الذي يرمز إلى الثنائي حيث سنعتبره كسهم يشير اتجاه رأسه إلى الاتجاه الأسهل لمرور التيار الاصطلاحي ، بمعنى آخر أن التيار سيلاقي مقاومة صغيرة لمروره عبر منطقة الوصلة . أما في حالة ما إذا مر التيار الاصطلاحي في الاتجاه المعاكس لاتجاه المثلث (طبعاً تعلمون كيف ذلك) فإنه سيلاقي مقاومة كبيرة لمروره عبر الوصلة .

وحتى نفهم ما يجري بشكل دقيق سنبني الدائرة الافتراضية التي في الشكل (2-6-أ) . لاحظ توصيل البطارية بطرفي الدايود ، هذه البطارية ستكون من النوع المتغير الجهد . في البداية سنضبط البطارية عند الجهد صفر ، في هذه الحالة سنجد أن التيار هو أيضاً صفر . الآن سنقوم بزيادة جهد البطارية ، سيتبع هذه الزيادة مرور تيار عبر الدايود ، هذا التيار سيمر ببطء في البداية ، ولكن أثناء زيادة جهد البطارية قليلاً فإن التيار سيمر بقيمة كبيرة عبر الثنائي . ولهذا يجب دائماً أن يكون جهد البطارية كبير كفاية للتغلب على جهد الإعاقة حتى يمر التيار بسهولة عبر الثنائي .



ب- خصائص الانحياز الأمامي

أ- الانحياز الأمامي

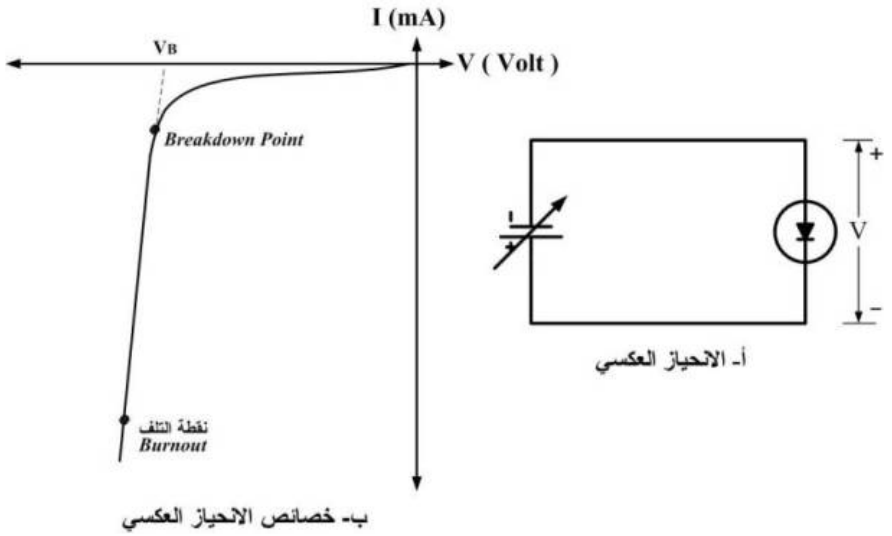
الشكل (2-6)

الشكل (2-6-ب) يوضح العلاقة بين الجهد والتيار ، إن الجهد V_k يسمى بجهد العتبة Knee Voltage . إن ازدياد الجهد فوق هذه القيمة سيكون بازدياد وحدة واضحة . وكتقريب فإن جهد العتبة يساوي جهد الإعاقة . وبما أننا نستخدم بلورات الجرمانيوم والسليكون في دوائرنا فإن جهد العتبة للجرمانيوم يساوي 0.3 فولت وجهد العتبة لبلورة السليكون يساوي 0.7 فولت .

بالطبع فإنه توجد قيمة محددة من التيار يمكن أن يمررها الثنائي ، وإذا تجاوزها فإنه سيتلف، وهي تظهر عند زيادة جهد الثنائي فوق جهد العتبة ، عندها سيزداد التيار بحدة فاحشة ، هذه الزيادة الكبيرة لها مدى معين يمكن أن يتحمله الدايود وإذا تجاوزه فإنه سيتلف (يحترق) وهذا ما نسميه بمدى التحطم Burnout . وعندها سيحترق الثنائي وذلك ببساطة لأنه تجاوز أقصى قدرة يمكن أن يتحملها. فمثلاً إن ثنائي شبه الموصل المثالي تتراوح أقصى قدرة له إلى حوالي 0.5 وات ، وإذا تجاوزها فإنه من الطبيعي سيتلف (على فرض أن الجهد والتيار مستمرين DC) .

ولكن ماذا يحدث لو قلبنا قطبية البطارية بالعكس كما في الشكل (2-7- أ) ؟؟

أثناء قلب البطارية فإن تياراً قليلاً جداً سوف يمر ، التيار الاصطلاحي الفعلي سيمر بعكس اتجاه i ، ولذلك فإن الجهد الفعلي عبر الثنائي هو الآخر سيقلب قطبية V .

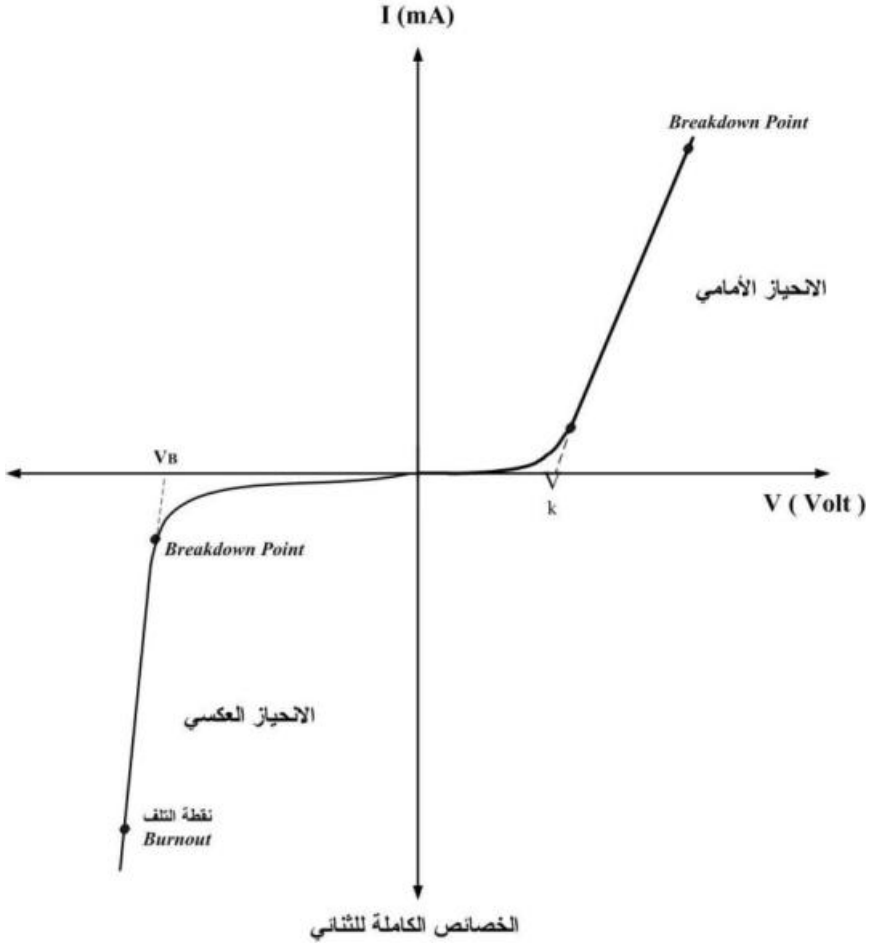


الشكل (2-7)

عندما نبدأ برفع جهد البطارية بدأ من الصفر فإن تياراً قليلاً جداً سوف يمر كما هو مبين بخصائص الانحياز العكسي في الشكل (2-7- ب) . قلة كمية التيار المار سببه قلة عدد الحاملات الأقلية التي سوف تمر فعلياً من خلال الدايود . وكما نعلم عند زيادة الجهد العكسي قليلاً عن القيمة السابقة فإننا سنلاحظ زيادة حادة في مستوى التيار المار ، الجهد الذي يبدأ عنده التيار بالارتفاع الحاد يعرف بجهد الانهيار Breakdown Voltage ، ويرمز له بالرمز V_B . وإذا استمرينا في زيادة جهد البطارية فإننا حتماً سنصل في النهاية إلى قيمة من التيار سيتلف عندها الدايود ، سبب هذا التلف هو تجاوز أقصى قدرة يمكن أن يتحملها الدايود . فعلى سبيل المثال إذا كانت قدرة الدايود هي حوالي 0.5 وات ، وكان جهد الانهيار V_B هو 100 فولت ، فإن أقصى تيار يمكن أن يصل إليه الدايود دون أن يتلف هو:

$$I = P / V = 0.5 / 100 = 5 \text{ mA}$$

إن ما يحدث في لحظة الانهيار هو تحرر عدد كبير من الإلكترونات تكون متاحة لمرور التيار ، إن قيمة جهد الانهيار تتغير من ثنائي إلى آخر وكحالة مثالية فإن قيمة هذا الجهد يجب أن تكون ضمن مدى يبدأ من بضعة فولتات ولا يتجاوز بضعة مئات من الفولتات .



الشكل (2-8)

الخواص الكلية لثنائي شبه الموصل موضحة في الشكل (2-8) حيث نرى دمج بين خواصي الانحيازين .

وأخيراً يمكننا تلخيص تجربتنا الافتراضية السابقة في النقاط التالية :

1- في حالة الانحياز الأمامي فإننا نحتاج إلى بضعة أعشار من الفولت لكي نحصل على قيمة معتبر ة للتيار .

2- في حالة الانحياز العكسي فإن تيار قليل جداً سوف يمر عبر الثنائي ولكنه أقل من جهد الانهيار.

3- بعد جهد الانهيار فإن التيار سوف يزداد بشكل حاد ، ولكن ليس من الضروري أن يحترق أو يتحطم ما لم يصل إلى منطقة تجاوز أقصى قيمة يمكن أن يتحملها الثنائي.

مثال : ثنائي شبه الموصل أقصى قدرة له هي 1 وات ، وجهد الانهيار له يساوي 150 فولت . إذا كان الدايود يشتغل في منطقة الانهيار فما قيمة التيار التي بعدها مباشرة يتلف الدايود ؟

$$P = I\,V$$

$$I = P\,/V = 1\,/\,150 = 6.67\ mA$$

الخلاصة

ثنائي P-N هو عبارة عن بلورة صلبة تتكون من شريحتين الأولى من النوع الموجب P-type والثانية من النوع السالب N-type ، وعند وصل هاتين الشريحتين ببعض فإن الحاملات الأغلبية ستنتشر عبر منطقة الوصلة وهناك ستعيد ارتباطها من جديد (هنا كما تعلمون فإن الارتباط يكون بين الإلكترونات الحرة والفجوات ، وهي التي تمثل حاملات الشحنات الأغلبية) . وبسبب هذا الارتباط ستنشأ منطقة تعرف بمنطقة النضوب تحتوي على ذرات متأينة وثابتة ، والتي في تكونها ستنتج جهداً يعرف بجهد الإعاقة (أي يعيق مرور الحاملات الأغلبية من المرور عبر الوصلة) قيمة هذا الجهد بالنسبة لبلورة الجرمانيوم هو حوالي 0.3 فولت ، وبالنسبة لبلورة السليكون حوالي 0.7 فولت .

عند توصيل الجانب الموجب للبلورة بالقطب الموجب للبطارية ، ففي هذه الحالة سيتغلب جهد البطارية على جهد الإعاقة وسيمر التيار عبر الثنائي أو بمعنى آخر سيمر التيار عبر الدائرة (حتى يتغلب جهد البطارية على جهد الإعاقة فمن الضروري أن تكون قيمته أكبر من جهد الإعاقة) . تحت هذه الشروط فإن حالة الدايود تسمى بالانحياز الأمامي .

وعند توصيل الجانب الموجب للبلورة بالقطب السالب للبطارية فسينشأ تيار صغير جداً سيمر عبر الدايود يعرف بتيار الانحياز العكسي .

خصائص الثنائي P-N تشير إلى أنه في حالة الانحياز الأمامي فإن تياراً معتبراً سوف يمر شريطة أن يكون جهد الثنائي أكبر من جهد العتبة . بينما في حالة الانحياز العكسي فإن كمية صغيرة فقط من التيار سوف تمر ما لم تتجاوز فولتية الثنائي جهد الانهيار ، في منطقة الانهيار يجب ألاّ يتجاوز التيار المار أقصى قيمة يمكن أن يتحملها الثنائي وإلاّ فإنه سيحترق ويتلف .

بعض التعريفات المهمة

- **لحظة الكسر Avalanche** : عند قيمة جهد عكسية عالية فإن الحاملات الأقلية يمكنها أن تصل إلى سرعات كافية لإزاحة إلكترونات الغلاف الخارجي التي تباعاً ستكتسب سرع كافية لإزاحة إلكترونات الغلاف الخارجي .. وبالنتيجة فإنه سيكون هناك زيادة كبيرة في التيار العكسي .
- **جهد الإعاقة Barrier Potential** : هو الجهد عبر وصلة P-N ، هذا الجهد ينتج بفعل الذرات المشحونة على جانبي الوصلة . قيمته تساوي 0.3 فولت تقريباً بالنسبة لبلورات الجرمانيوم ، و0.7 فولت بالنسبة لبلورات السليكون .
- **جهد الانهيار Breakdown voltage** : هو تلك القيمة من الجهد العكسي التي بعدها سيزداد التيار زيادة عالية .
- **التيار الاصطلاحي Conventional current** : هو ذاك التيار الذي يسير في نفس اتجاه الفجوات أو بمعنى آخر يسير في عكس اتجاه الإلكترونات .
- **منطقة النضوب Depletion layer** : هي عبارة عن منطقة توجد في جانبي وصلة P-N ، هذه المنطقة نسبياً فارغة أو ناضبة من الشحنات الحرة ، وهي بشكل أساسي تحتوي على ذرات أيونية ثابتة .

- **الانحياز الأمامي Forward bias** : عند تطبيق جهد خارجي عبر الدايود مع قطبية تسمح بمرور التيار الاصطلاحي في اتجاه رأس المثلث ، أي من الجانب الموجب إلى الجانب السالب لشريحة الوصلة .
- **جهد العتبة Knee voltage** : هي تلك القيمة التقريبية من الجهد الأمامي التي بعدها يزداد التيار المار في الثنائي زياد حادة وكبيرة .
- **الانحياز العكسي Reverse bias** : عند تطبيق جهد خارجي عبر الثنائي مع قطبية تسمح بمرور التيار بعكس اتجاه رأس المثلث ، أي من الجانب السالب إلى الجانب الموجب .
- **تأثير زينر Zener effect** : في حالة الانحياز العكسي فإن إلكترونات الغلاف الخارجي من الممكن أن تنزاح بفعل تأثير المجال الكهربائي المتكون بواسطة الانحياز العكسي ، وكنتيجة فإنه سيكون هناك زيادة معتبرة في التيار .

أسئلة للمراجعة :

1- ما هي منطقة النضوب في الدايود ؟
2- ما هي القيمة التقريبية لجهد الإعاقة في ثنائيات الجرمانيوم والسليكون ؟
3- ما هو تأثير جهد الإعاقة على الحاملات الأغلبية عند مرورها عبر الوصلة ؟
4- ما هو سبب تكون جهد الإعاقة ؟
5- ما هي الحاملات الأغلبية في الجزء الموجب لشريحة الوصلة ، وفي الجزء السالب لشريحة الوصلة ، وأيضاً في الأسلاك الخارجية الموصلة بين البطارية والدايود ؟
6- ماذا يحدث لحجم منطقة النضوب عندما يكون الدايود في حالة الانحياز العكسي ؟
7- ما هي القيمة التقريبية لجهد العتبة لكل من ثنائي السليكون وثنائي الجرمانيوم ؟
8- هل في حالة الانحياز العكسي يتلف الدايود مباشرة ؟ لماذا ؟
9- عندما يكون الدايود في منطقة الانهيار فكيف سيكون إنتاج حاملات التيار ؟

مسائل :

2-1- دايود أقصى قدرة تحمل له هي 0.25 وات ، فما هي أقصى قيمة تيار مسموح به في حالة الانحياز إذا علمت أن الجهد بين طرفي الدايود هو 1 فولت ؟

2-2- دايود جهد الانهيار له هو 150 فولت ، إذا علمت أن أقصى قدرة يتحملها هذا الدايود هي0.25 وات فما هي قيمة التيار العكسي التي عندها يتلف الدايود ؟

2-3- دايود له أقصى قدرة تحمل تعادل 0.5 وات ، هذا الدايود سيتلف عندما يكون تيار الانحياز الأمامي 400 ملي أمبير . ماهي قيمة الجهد عبر الدايود التي عندها سيتلف ؟