كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : الكترونيات١

المحاضرة: الخامسة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2026

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

الديود (The Diode)

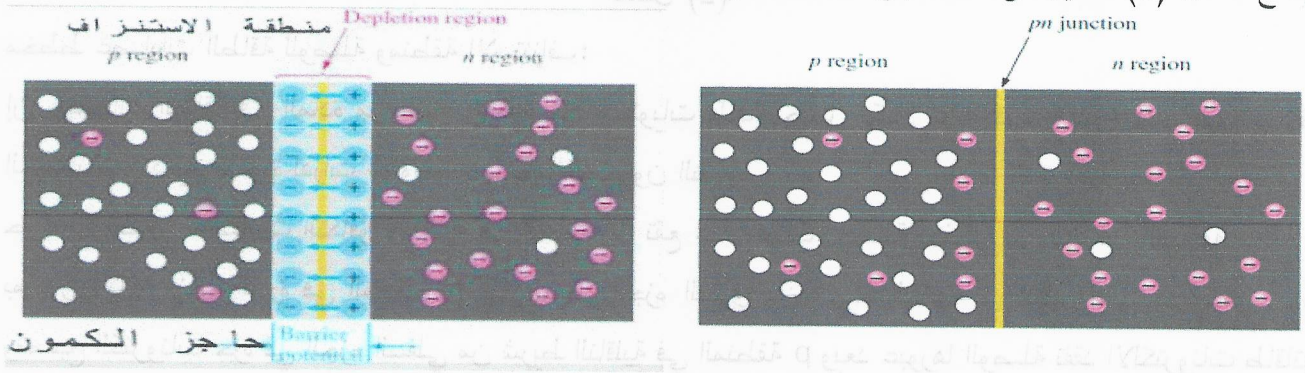
المتصل الثنائي (الديود) The Diode:

يتشكل الديود من اتحاد مادتين نصف ناقلتين أحدهما من النوع N والأخرى من النوع P ويعرف الديود بأنه نبيطة كهربائية تمرر التيار الكهربائي باتجاه واحد فقط.

تشكيل الديود:

عند اتصال مادتين من نصف الناقل السليكون إحداهما مطعمة بذرات ثلاثية التكافؤ مثل البور (فيتشكل نصف ناقل من النوع P) والأخرى مطعمة بذرات خماسية التكافؤ مثل الفوسفور خماسية التكافؤ (نصف ناقل من النوع N) حيث نلاحظ أنه في المنطقة n تنساق الالكترونات الحرة عشوائياً في كافة الاتجاهات وأيضاً الثقوب في المنطقة p، وفي لحظة تشكل الوصلة pn تبدأ الالكترونات الحرة في المنطقة n بجوار الوصلة بالانتشار عبرها إلى المنطقة p (الاختلاف في التركيز) حيث تتحد مع الثقوب بجوار تلك الوصلة، (كما ونعلم أنه قبل تشكل الوصلة بقدر ما تتوفر الكترونات توجد بروتونات في المادة من النوع n وكذلك بالنسبة للمادة من النوع p مما يجعل المادة معتدلة كهربائياً بلغة الشحنة الإجمالية)، عند تشكل الوصلة تفقد المنطقة n الكترونات حرة تنتشر عبر الوصلة وهذا يخلق طبقة من الشحنات الموجبة (أيونات خماسية التكافؤ) بجوار الوصلة وحالما تنتقل الالكترونات عبرها بفعل الانتشار تفقد المنطقة p ثقوباً بسبب اتحاد الالكترونات معها وهذا بدوره يخلق طبقة من الشحنات السالبة (أيونات ثلاثية التكافؤ) بجوار الوصلة تشكل هاتان الطبقتان منطقة الاستنزاف (Depletion region) أو تسمى منطقة النضوب، ويدل ذلك أن المنطقة بجوار الوصلة قد استنزفت حاملات الشحنة بسبب انتشارها عبر الوصلة وبعد تدفق الالكترونات عبر الوصلة فإن هذه الوصلة تتوسع وتصل لنقطة يتحقق عندها التوازن ولا يوجد بعدها انتشار للالكترونات بسبب مقاومة الشحنة السالبة الإجمالية في منطقة الاستنزاف أي انتشار لاحق للالكترونات في المنطقة p يتوقف الانتشار أي تعمل منطقة الاستنزاف فعل حاجز يعارض الانتقال اللاحق للالكترونات عبر الوصلة.

يوضح الشكل (1) تشكيل الوصلة pn ومنطقة الاستنزاف.



الشكل (1)

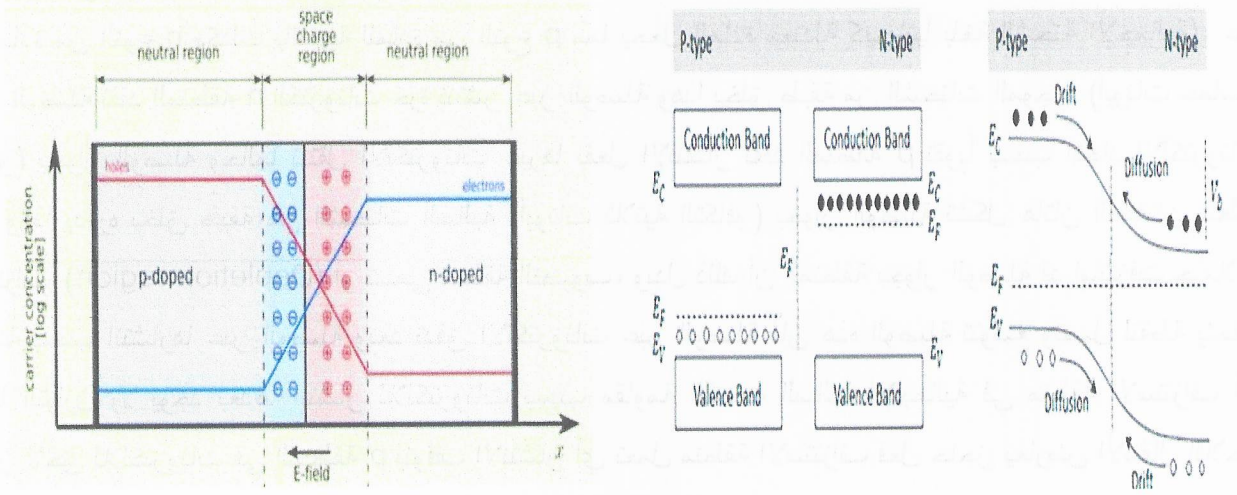
يوجد تدرج بين كثافة حاملات الشحنة بين المادتين الموجودتين على طرفي الوصلة حيث تبدأ بعض الالكترونات الحرة من n بالانتشار عبر الوصلة التي تشكلت حديثاً لتملأ الثقوب في نصف الناقل من نوع p مشكلة فيها أيونات سالبة ومخلفة في المنطقة n ايونات مانحة كثافتها N_d هي ما تبقى من الذرات الشائبة المانحة التي انتقلت الكتروناتها، كما أن الثقوب تنتقل عبر الوصلة في الاتجاه المعاكس للمنطقة n ومشكلة فيها أيونات موجبة ومخلفة في المنطقة p ايونات

أخذة كثافتها N_a كما هو موضح في الشكل (2) حيث يبين الشكل (2a) مخطط بنية عصابات الطاقة لنصفي الناقل ومخطط بنية عصابة الطاقة للوصلة المشكلة للديود، ويبين الشكل (2b) عملية الانتشار وتشكل الوصلة.

إن وجود الشحنات الموجبة والسالبة بجوار بعضها البعض وجدت قوة كهربائية تؤثر في هاتين الشحنتين حسب قانون كولون وفي منطقة الاستنزاف يوجد العديد من الشحنات الموجبة والسالبة على الجهتين المتقابلتين للوصلة ويتشكل حقل كهربائي ناتجة عن القوة المتولدة بين الشحنات المختلفة ويقف الحقل حائلاً أمام الالكترونات الحرة في المنطقة n ولابد من طاقة تصرف على الالكترون لكي يتجاوز ذلك الحقل الكهربائي في منطقة الاستنزاف وكمية الجهد المطلوبة لكي تتجاوز الالكترونات ذلك الحقل الكهربائي تسمى بحاجز الكمون (Barrier Potential) ويرتبط كمون الحاجز بنوع مادة نصف الناقل ومقدار التطعيم ودرجة الحرارة.

وحاجز الكمون النموذجي للسليكون والجرمانيوم في درجة حرارة الغرفة يساوي إلى 0.7V و 0.3V على الترتيب.

في مقررنا جميع الدارات والديودات مكونة من نصف ناقل السليكون مالم يتم ذكر غيره في النص.



b a

الشكل (2)

مخطط عصابات الطاقة للوصلة ومنطقة الاستنزاف:

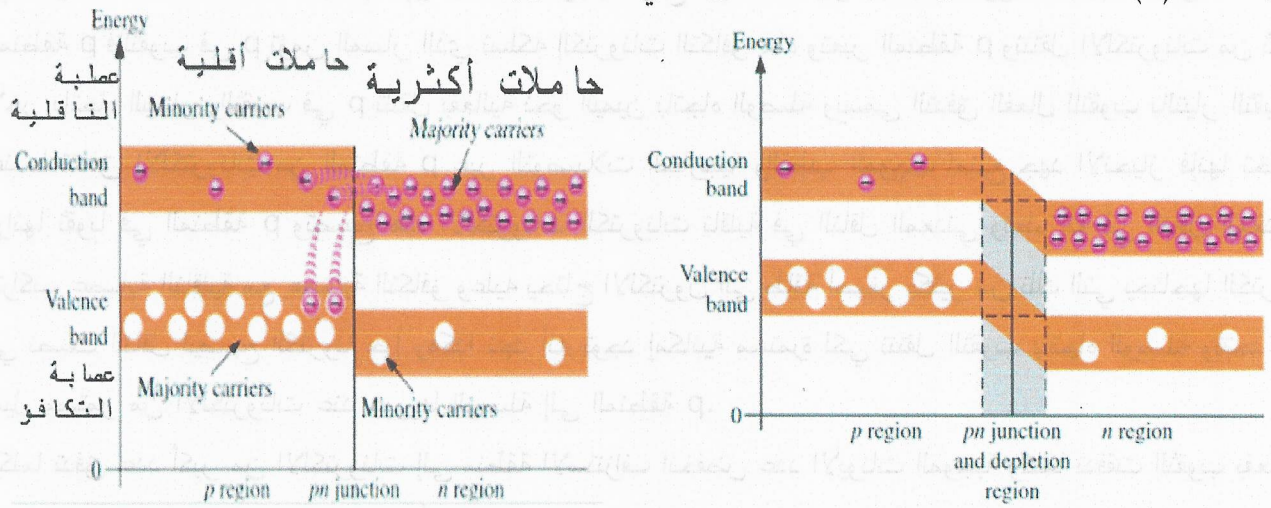
إن عصابات الطاقة في المادة من النوع n تقع عند مستويات طاقة أخفض بقليل من تلك من النوع p بسبب اختلاف الخصائص الذرية المميزة لذرات الشوائب المضافة للسليكون النقي.

حيث نلاحظ أن عصابات التكافؤ والناقلية في المنطقة n تقع عند مستويات طاقة أخفض من تلك في المنطقة p بمقدور الالكترونات الحرة في المنطقة n التي تشغل الجزء العلوي من شريط الناقلية أن تنتشر عبر الوصلة بسهولة وتصبح الكترونات حرة في الجزء السفلي من شريط الناقلية في المنطقة p وبعد عبورها الوصلة تفقد الالكترونات طاقاتها بسرعة وتتحدد مع الثقوب في عصابة التكافؤ في المنطقة p وخلال عملية الانتشار تبدأ منطقة الاستنزاف بالتشكل وينخفض المستوي الطاقي لعصابة الناقلية في المنطقة n نتيجة فقدان الالكترونات ذات الطاقات العالية والتي انتشرت عبر الوصلة إلى المنطقة p ولاحقاً لن تتوافر الكترونات في عصابة الناقلية في المنطقة n بطاقة كافية لكي تتجاوز الوصلة إلى عصابة الناقلية في p من خلال تراصف أعلى عصابة الناقلية للمنطقة n مع أسفل عصابة الناقلية للمنطقة p وفي هذه الحالة تكون الوصلة في حالة توازن وتكتمل منطقة الاستنزاف (Depletion region) لكون عملية الانتشار

قد توقفت كما ويوجد تدرج طاقي عبر منطقة الاستنزاف التي تفعل فعل سفح طاقي على الكترون المنطقة n أن يتسلقه لكي يصل إلى المنطقةp.

وتبقى فجوة الطاقة ثابتة بين العصابتين لا تتغير.

يبين الشكل (3) مخطط الطاقة وتشكل منطقة الاستنزاف في حالة التوازن.

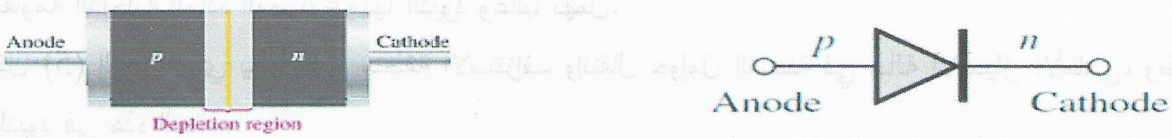


الشكل (3)

تركيب الديود ورمزه:

الديود هو جهاز الكتروني بوصلة وحيدة ونقاط تماس ناقلة للتيار الكهربائي وأسلاك ربط.

يبين الشكل (4) تركيب الديود، والرمز الالكتروني له حيث تسمى المنطقة n المهبط Cathode والمنطقة p المصعد Anode ويشير السهم إلى التجاه الاصطلاحي للتيار (المعاكس لاتجاه تدفق الالكترونات).



الشكل (4)

انحياز الديود Biasing a Diode:

يعني الانحياز تطبيق جهد مستمر لفرض شروط العمل كي يعمل الجهاز الالكتروني ويقوم بوظيفته المطلوبة.

سندرس حالتي انحياز الديود:

1-حالة الانحياز الأمامي (المباشر) Forward Bias:

لتحييز الديود لابد من تطبيق جهد مستمر عليه والانحياز الأمامي هو الشرط الذي يسمح للتيار بالمرور عبر الوصلة يرمز لجهد الانحياز الخارجي بالرمز V_B وتقيد المقاومة R التيار بقيمة محددة بهدف حماية الديود ومنعه من التلف.

نصل القطب السالب بالمنطقة n والقطب الموجب ب p ويجب تطبيق جهد انحياز أعلى من كمون الحاجز لدى انحياز الديود أمامياً بما أن الشحنات المتماثلة تتنافر فإن القطب السالب لمنبع جهد الانحياز يدفع الالكترونات الحرة التي تعد حاملات أكثرية في المنطقة n باتجاه الوصلة وهذا التدفق للالكترونات الحرة يسمى بتيار الالكترونات ويؤمن القطب السالب للمنبع تدفقاً متواصلاً للالكترونات في المنطقة n.

إن منبع جهد الانحياز ينقل طاقة كبيرة للالكترونات الحرة لكي تتجاوز كمون حاجز منطقة الاستنزاف وتنتقل إلى p وحالما تصبح الكترونات الناقلية هذه في المنطقةp تكون قد فقدت طاقة كافية لتتحد مباشرة مع الثقوب في عصابة التكافؤ.

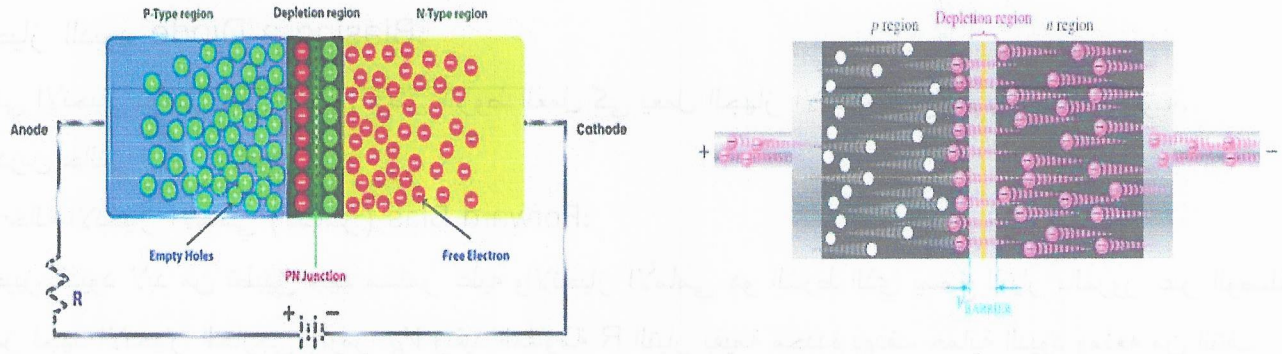
وبما أن الشحنات المختلفة تتجاذب فإن القطب الموجب لمنبع جهد الانحياز يجذب الكترونات باتجاه الطرف الأيسر للمنطقة p فالثقوب في p تؤمن المسار الذي تسلكه إلكترونات التكافؤ هذه وتعبر المنطقة p وتنتقل الالكترونات من ثقب لأخر باتجاه اليسار والثقوب في p تنتقل بفعالية نحو اليمين باتجاه الوصلة ويسمى التدفق الفعال للثقوب بالتيار الثقبي.

عندما تتدفق الالكترونات من المنطقة p عبر التوصيلات الخارجية والقطب الموجب لمنبع جهد الانحياز فإنها تخلف ورائها ثقوباً في المنطقة p وتصبح هذه الالكترونات الكترونات ناقلية في الناقل المعدني ونعلم أنه في الناقل المعدني تتراكب عصابة الناقلية مع عصابة التكافؤ وعليه يحتاج الالكترون إلى طاقة أصغر بكثير من تلك التي يحتاجها الكترون في نصف الناقل ليصبح الكتروناً حراً وهكذا نجد أنه توجد إمكانية مستمرة لكي تنتقل الثقوب باتجاه الوصلة وتتحد مع سيل مستمر من الالكترونات عند عبورها الوصلة إلى المنطقة p.

وكلما تدفق عدد أكبر من الالكترونات إلى منطقة الاستنزاف انخفض عدد الأيونات الموجبة وكلما تدفقت الثقوب بفعالية عبر منطقة الاستنزاف انخفض عدد الأيونات السالبة وهذا الانخفاض في تعدد الأيونات الموجبة والسالبة يجعل منطقة الاستنزاف تضيق وأن كمون الحاجز الذي يفعل فعل سفح طاقي في منطقة الاستنفاذ يمنع انتشار الالكترونات عبر الوصلة في حالة التوازن فإنه عند تطبيق الانحياز المباشر على الديود تكتسب الالكترونات الحرة من منبع جهد الانحياز طاقة كافية للتغلب على هذا الكمون وتتسلق السفح الطاقي بفعالية وتعبر الوصلة والطاقة التي تحتاجها الالكترونات لكي تعبر منطقة الاستنزاف تساوي لكمون الحاجز 0.7V (السليكون)حدث هبوط جهد إضافي صغير بين المنطقتين n و p بسبب المقاومة الداخلية للمادة المصنوع منها الديود وغالباً تهمل.

يبين الشكل (5) التغير الذي يطرأ على منطقة الاستنزاف وانتقال حوامل الشحنة في حالة الانحياز الأمامي، وطريقة توصيل الديود في هذه الحالة.

يبين الشكل (6a) الدارة الالكترونية للديود وتوصيلته في حالة الانحياز الأمامي.



الشكل (5)

الخاصية المميزة للديود جهد–تيار:

عند تطبيق جهد في حالة انحياز أمامي ينشأ فيه تيار كهربائي وفي حالة الانحياز العكسي يمنع الديود التيار من المرور عملياً.

المنحني المميز للديود في حالة الانحياز الأمامي:

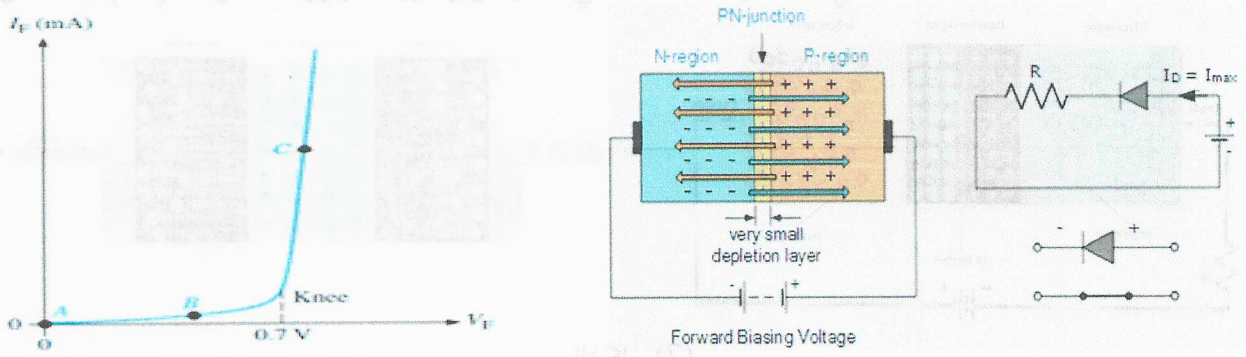
عند تطبيق جهد انحياز أمامي على ديود فإن تياراً كهربائياً يمر عبره يسمى تيار أمامي I_F، عندما يكون جهد الانحياز صفراً لا يمر تيار كهربائي بالديود ولكن بزيادة جهد الانحياز الأمامي من منبع الجهد تدريجياً بين طرفي الديود يزداد التيار الأمامي المار فيه وكذلك هبوط الجهد عبره تدريجياً وعند الوصول ل قيمة جهد الانحياز نلاحظ يبدأ التيار الأمامي بالارتفاع بشكل متسارع، وعند الاستمرار برفع جهد الانحياز الأمامي يتسارع التيار أكثر فأكثر ولكن تسليط الجهد على الديود بعد القيمة 0.7 يزداد تدريجياً فقط هذه الزيادة الصغيرة في جهد الديود عن كمون الحاجز ناجمة عن هبوط الجهد على المقاومة الداخلية الديناميكية لمادة نصف الناقل.

رسم المنحني البياني لتغيرات التيار بدلالة الجهد:

يبين الشكل(6b) منحني جهد تيار للديود في حالة الانحياز الأمامي حيث نلاحظ من الشكل أن التيار الأمامي يزداد بشكل ضعيف ما لم يصبح الجهد الأمامي بين طرفي الوصلة مساوياً 0.7 تقريباً ولكن قيمة التيار تزداد بسرعة وتوجد زيادة ضعيفة للجهد الأمامي عند تجاوز جهد الانحياز لقيمة كمون الحاجز لأن التيار يزداد على حساب هبوط الجهد على المقاومة الديناميكية ويرمز لها ب r'_dوتكون أكبر ما يمكن تحت نقطة الانعطاف لأن التيار يزداد بشكل بسيط جداً من أجل التغير المعطى للجهد وتبدأ هذه المقاومة بالنقصان في منطقة تقعر المنحني وتصبح أصغر ما يمكن فوق نقطة الانعطاف حيث يحصل تغير كبير في التيار من أجل التغير المعطى للجهد.

وتعطى r'_d بالعلاقة (1-1):

$$r'_d = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F} \qquad (1-1)$$



b A

الشكل (6)

2- حالة الانحياز العكسي (Reverse Bias):

هو الشرط الذي يمنع بشدة مرور التيار الكهربائي عبر الديود حيث يوصل القطب الموجب للجهد بالمنطقة n للديود والقطب السالب بالمنطقة p.

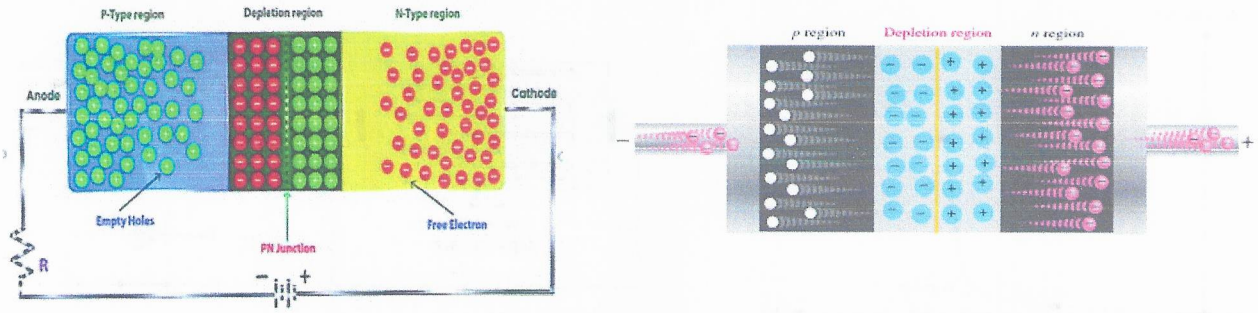
عند انحياز الديود عكسياً وبما أن الشحنات الموجبة تتجاذب فإن القطب الموجب لمنبع جهد الانحياز يسحب الالكترونات الحرة التي هي حاملات أكثرية في n بعيداً عن الوصلة وحالما تتدفق الالكترونات باتجاه القطب الموجب لمنبع الجهد تنشأ أيونات موجبة إضافية وبالنتيجة تتوسع منطقة الاستنزاف وتستنفد حاملات الشحنة الأكثرية.

إن الالكترونات في المنطقة p تدخل من الطرف السالب لمنبع الجهد كإلكترونات تكافؤ وتنتقل من ثقب لأخر باتجاه منطقة الاستنزاف حيث تكون أيونات سالبة إضافية وهذا يزيد بدوره عرض منطقة الاستنزاف ويمكن النظر على الكترونات التكافؤ على أنها ثقوب سحبت باتجاه الطرف الموجب يعد التدفق أولي لحاملات الشحنة انتقالياً ويدوم لفترة زمنية قصيرة جداً بعد تطبيق جهد الانحياز العكسي وحالما تتوسع منطقة الاستنزاف ينخفض عدد الحاملات الأكثرية في المنطقة n والمنطقة p كلما ازدادت شدة الحقل الكهربائي الناشئ بين الأيونات الموجبة والسالبة وتستمر الزيادة حتى يتساوى الكمون بين طرفي منطقة الاستنزاف مع جهد الانحياز وفي الحالة الأخيرة يتوقف التيار الانتقالي عملياً ويجري تيار عكسي ضعيف جداً عادة يمكن إهماله وهو ناتج من الحاملات الأقلية المتوفرة في المنطقتين والتي بدورها ظهرت نتيجة التوليد الحراري للأزواج الكترون ثقب فالعدد القليل للالكترونات الحرة الأقلية في المنطقة p اندفع نحو الوصلة تحت تأثير جهد الانحياز السالب وعندما تبلغ هذه الالكترونات منطقة الاستنزاف الواسعة فإنها تهبط عبر السفح الطاقي وتتحد مع الثقوب الأقلية في المنطقة n كإلكترونات تكافؤ وتتدفق باتجاه جهد الانحياز الموجب مكوناً تياراً ثقبياً صغيراً.

إن عصابة الناقلية في المنطقة p تقع عند مستوي طاقة أعلى من مستوي الطاقة لعصابة الناقلية في المنطقة n ولهذا السبب تعبر الالكترونات الأقلية منطقة الاستنزاف بسهولة لأنها لا تحتاج طاقة إضافية.

يبين الشكل (7) التغير الذي يطرأ على منطقة الاستنزاف وانتقال حوامل الشحنة في حالة الانحياز العكسي، وطريقة توصيل الديود في هذه الحالة.

يبين الشكل (8a) الدارة الالكترونية للديود وتوصيلته في حالة الانحياز العكسي.



الشكل (7)

الانهيار العكسي:

عادة التيار العكسي صغير لدرجة يمكن إهماله ولكن إذا زاد جهد الانحياز العكسي إلى قيمة كبيرة تسمى بجهد الانهيار فإن التيار العكسي سيزداد بشكل حاد

إن جهد الانحياز العكسي الكبير ينقل طاقة للالكترونات الحرة الأقلية فتكتسب سرعة عالية في المنطقة p وتصطدم مع الذرات بتلك الطاقة الكافية لتنتزع الكترونات التكافؤ من مداراتها التي بدورها تقفز إلى عصابة الناقلية التي تكونت للتو تكون طاقتها عالية وعند اصطدام الكترون واحد مع الكترونين أخريين فقط وانتزعهما من مدارهما التكافؤي أثناء انتقاله في المنطقة p فإن أعدادها تتضاعف بسرعة وحالما تعبر تلك الالكترونات ذات الطاقة العالية منطقة الاستنزاف فإنها

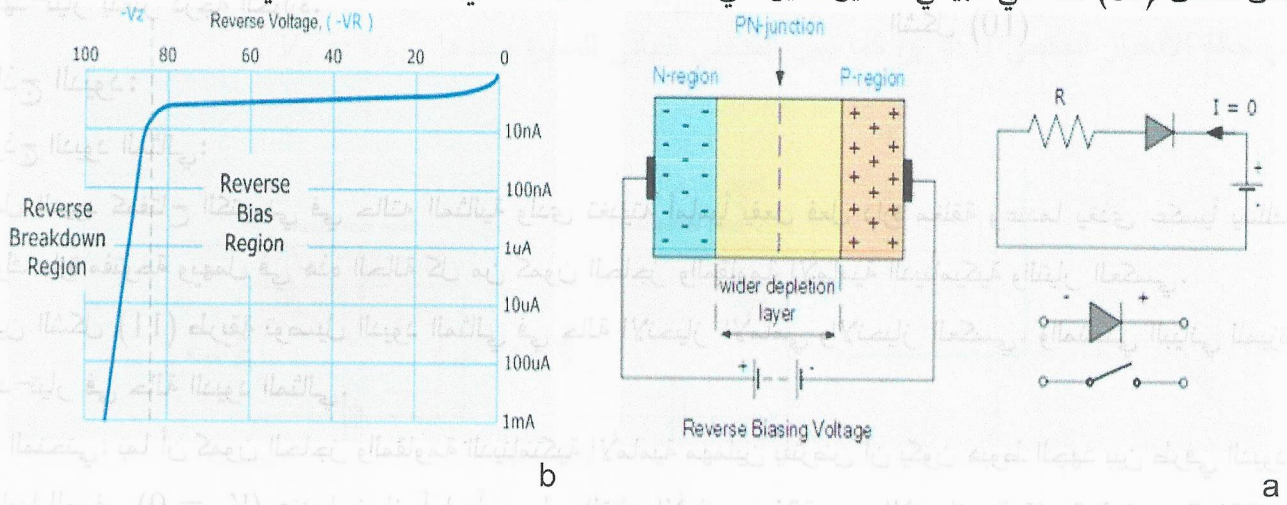
تكتسب طاقة كافية لتنتقل عبر n كإلكترونات ناقلية بدلاً من أن تتحد مع الثقوب إن مضاعفة أعداد الالكترونات الناقلية تدعى بالانهيار ينشأ بنتيجتها تيار عكسي كبير بمقدوره إتلاف الديود بسبب التبدد الحراري الزائد.

المنحني المميز للديود في حالة الانحياز العكسي:

عندما يطبق جهد الانحياز العكسي على ديود يتدفق تيار عكسي صغير جداً I_R عبر الوصلة وفي حالة الانحياز الصغرى يكون التيار العكسي معدوماً وعندما يزداد جهد الانحياز العكسي تدريجياً يمر عبر الديود تيار عكسي صغير جداً ويزداد هبوط الجهد بين طرفيه وعندما يزداد جهد الانحياز المطبق حتى قيمة ما حيث يبلغ هبوط الجهد العكسي قيمة الانهيار (Breakdown) يبدأ التيار العكسي بالزيادة بشكل متسارع وعندما نتابع زيادة جهد الانحياز تستمر الزيادة المتسارعة للتيار ولكن هبوط الجهد بين طرفي الديود يزداد قليلاً عن قيمة جهد الانهيار V_{BR}.

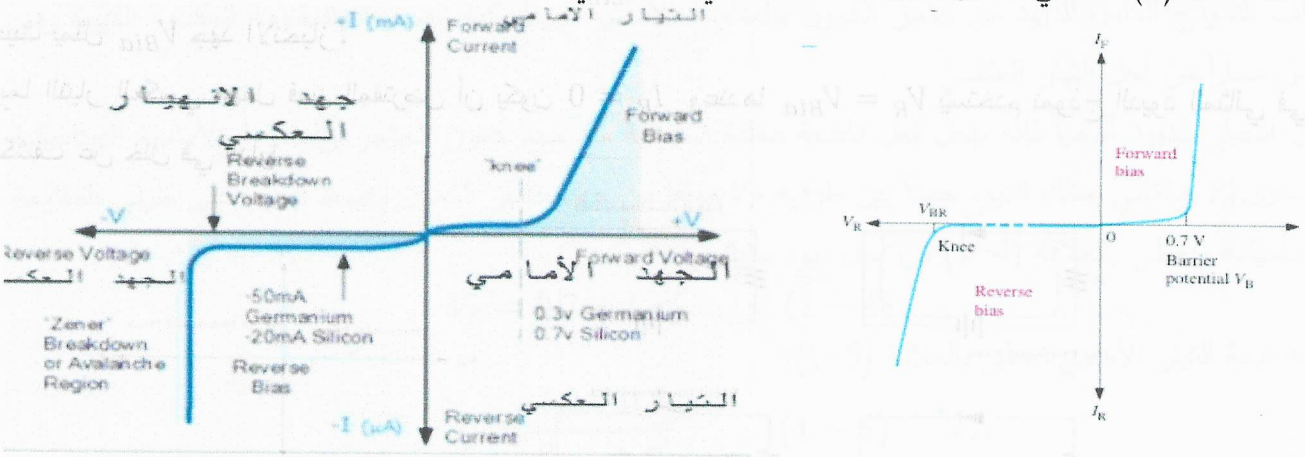
يمر عبر الديود تيار عكسي ضعيف جداً من مرتبة ميكرو حتى يبلغ جهد الانحياز العكسي بين طرفيه قيمة الانهيار ويبقى الجهد عند هذه القيمة ولكن التيار العكسي يزداد بشكل متسارع جداً مؤدياً إلى فرط تسخين الديود الذي يمكن أن يسبب تلفه. يمكن للجهد الموافق لانهيار ديود السليكون أن يتغير ولكن القيمة التقريبية الموافقة 50فولط.

يمثل الشكل (8b) المنحني البياني المميز للديود في حالة الانحياز العكسي والانهيار العكسي.



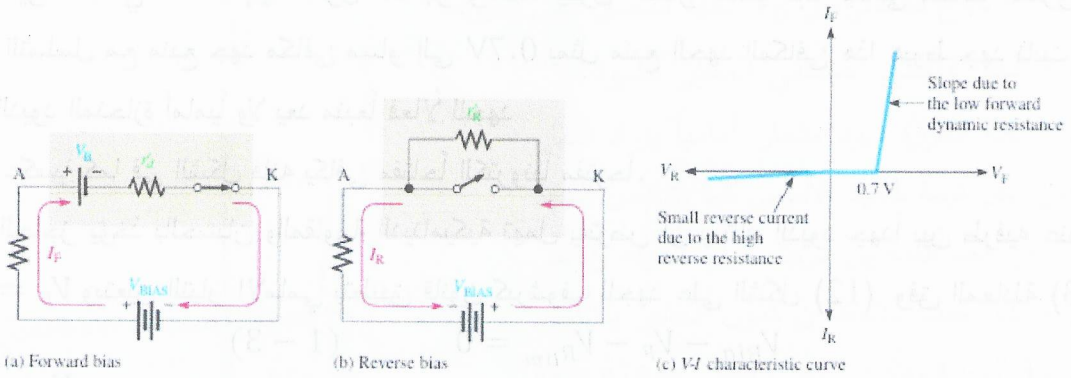
الشكل (8)

يمثل الشكل (9) المنحني المميز للديود بشكل كامل في كلتا حالتي الانحياز:



الشكل (9)

يبين الشكل (13) النموذج الكامل للديود في حالتي الانحياز الأمامي والعكسي والمنحني المميز للديود المدروس.



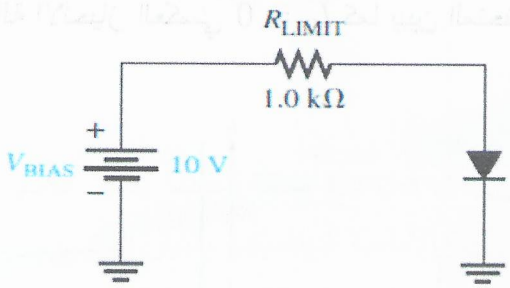
الشكل (13)

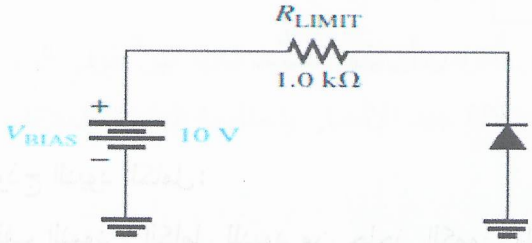
مثال:

ليكن لدينا الدارتين الممثلتين جانباً والمطلوب:

أوجد قيمة الجهد الأمامي والتيار الأمامي للدارة الأولى من أجل أنماط الديود المدروسة سابقاً وأوجد قيمة مقاومة التقييد للديود في كل حالة وعلى فرض $r'_d = 10\Omega$

وكذلك الجهد العكسي والتيار العكسي للدارة الثانية من أجل كل حالة من حالات الديود وأوجد قيمة الجهد بين طرفي المقاومة على فرض $I_R = 1\mu A$.





مكتبة A to Z