

أنصاف النواقل

تصنف المواد حسب ناقليتها للتيار الكهربائي

تصنف المواد الى ثلاثة انواع من حيث ناقليتها للتيار الكهربائي وذلك يعتمد على وفرة الالكترونات الحرة، وهي تصنف بحسب مقاومتها النوعية الى ثلاثة أنواع:

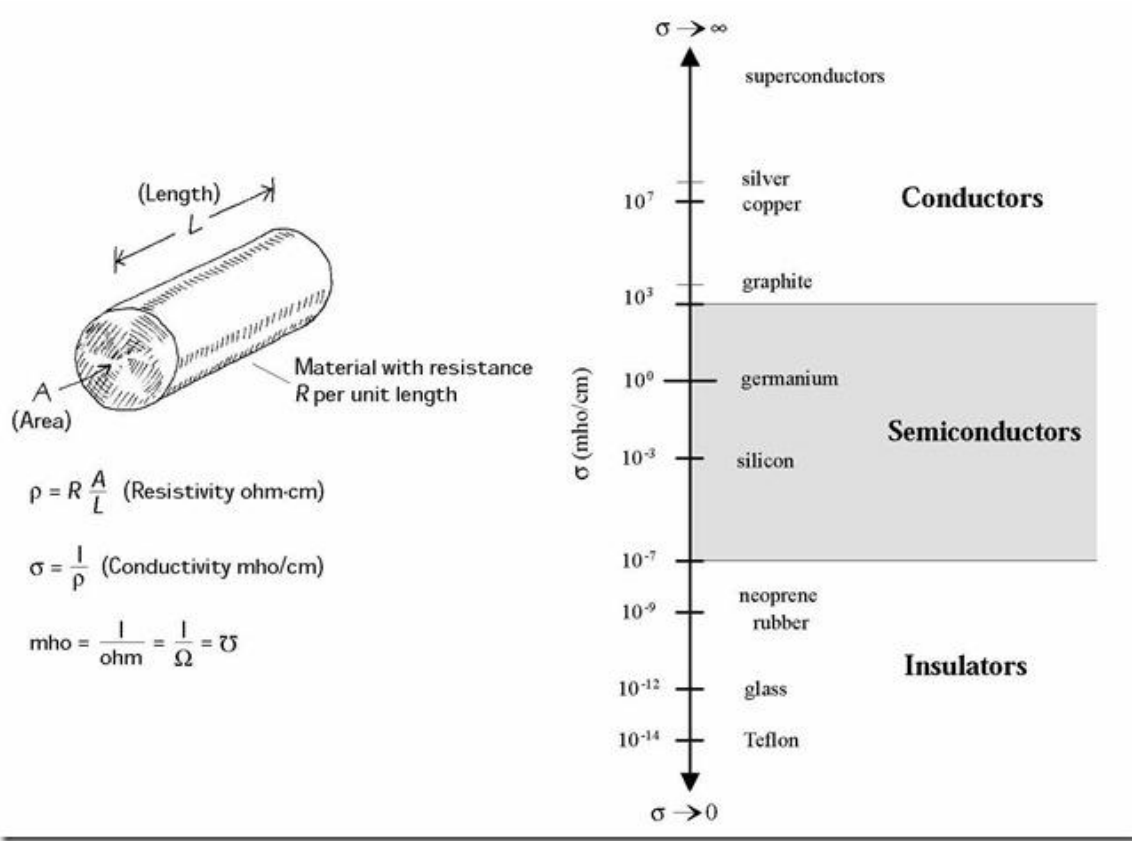
١. مواد ناقلة تمرر التيار الكهربائي بسهولة كالفضة والنحاس وتسمى هذه المواد نواقل كهربائية.

2. مواد غير ناقلة للتيار الكهربائي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي كالمطاط والزجاج، والتيفلون وغيرها وهذه المواد تسمى عوازل.

3. مواد نصف ناقلة

وهي عبارة عن مواد لا تنقل التيار الكهربائي في درجة الصفر المطلق، أما في درجة حرارة الغرفة (٢٠ °C) فإنها تنقل التيار، وتعرف المواد نصف الناقلة بأنها مواد ذات ناقلية نوعية

σ تقع في مجال من 10^3 (mho/cm) $(10^{-7}-10^{-10})$ بعض المواد نصف الناقلة تكون نقية (pure) مثل السليكون (silicon) والجرمانيوم (germanium) أما بعضها الآخر فهو عبارة عن خلأئط كالنيكروم , كما أن بعضها سائلا.

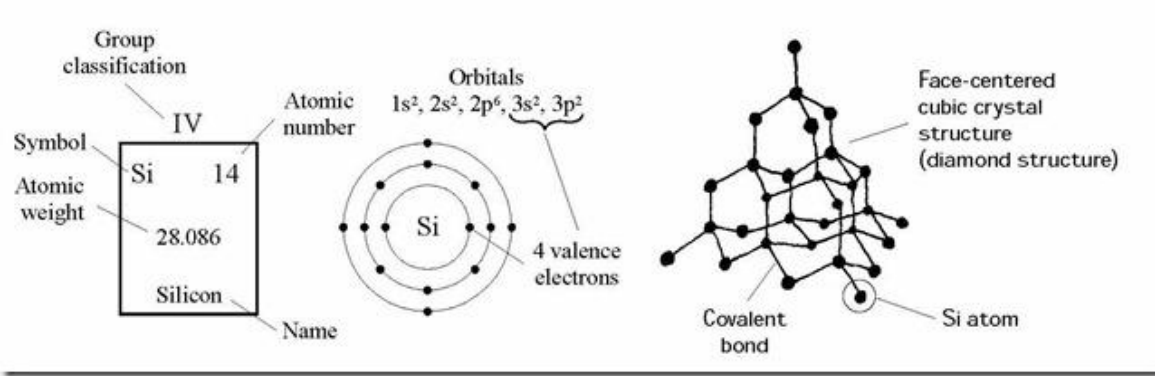


الشكل مجالات الناقلية للنواقل والعوازل وأنصاف النواقل

السليكون

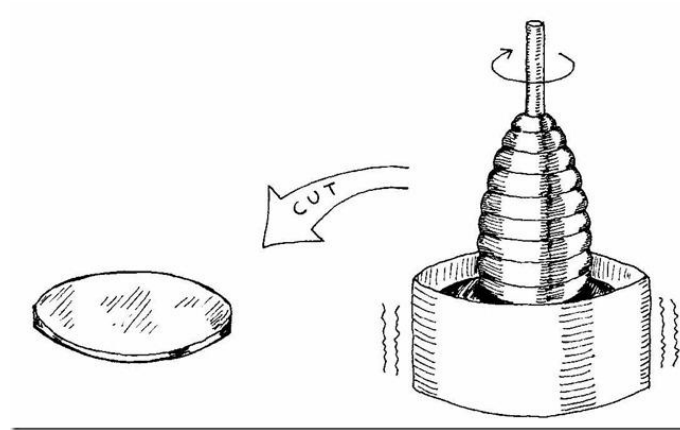
يعتبر السليكون المادة نصف الناقلة الأكثر أهمية والتي تستخدم في تصنيع العناصر الإلكترونية . أما المواد الأخرى كالجرمانيوم والسليينيوم (selenium) فإنها تستخدم أحياناً، إلا أنها أقل استخداماً من السليكون . يمتاز السليكون بأن له بنية ذرية فريدة، وهذه البنية ذات ميزات مفيدة وهامة جداً لتصنيع العناصر الإلكترونية . يتوفر السليكون بكثرة في الطبيعة فهو يقع في المرتبة الثانية بين أكثر العناصر توفراً في الطبيعة فمثلاً يتوقع أن ميلاً مكعباً من ماء البحر يحتوي حوالي (١٥٠٠٠) طن من السليكون ، ولكن هذا السليكون نادراً ما يتوفر ببنية الصافية النقية في الطبيعة، وقبل أن يكون من الممكن استخدامه لتصنيع العناصر الإلكترونية لابد من فصله عن المواد المشيبيّة (الشوائب) العالقة به، وبعد تنقية السليكون من الشوائب بطرق ومواد مختلفة فإن

السيليكون يصهر وتتشكل منه شرائح أو أقراص، حيث يتم تدوير السيلكون المنصهر في وعاء لتتشكل منه نواة كريستالية كبيرة وهذه النواة تقطع إلي شرائح وأقراص.



الشكل البنية البلورية للسيليكون ونموذج ذرته مع توزيع الإلكترونات في المدارات

يبين الشكل ببساطة تكوين الشرائح السيليكونية بدءاً من مرحلة الصهر والتدوير وتكوين النواة الكريستالية والتقطيع النهائي.



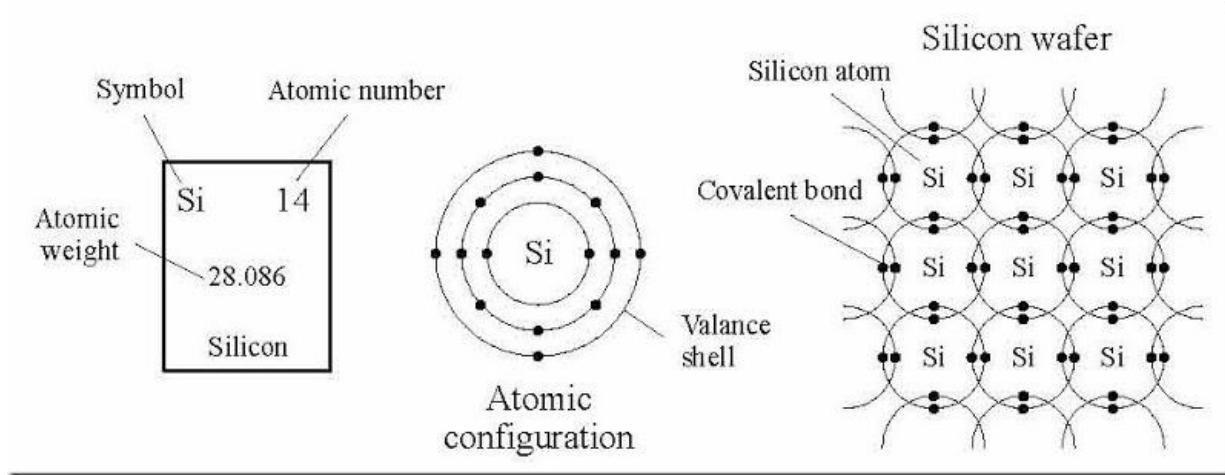
الشكل خطوات تكوين الشرائح السيليكونية

إن مصمم العناصر الإلكترونية لا يستخدم الشرائح السيليكونية النقية بمفردها لتكوين العناصر الإلكترونية لأنها لا تتمتع بالموصفات التي تؤهلها لهذا الاستخدام ، وذلك لأن مصمم العناصر الإلكترونية يبحث غالباً عن مادة أو عن مواد تغير ناقليتها فتعمل كناقل في لحظة ما وكعازل في

لحظة أخرى ، و حتي تغير المادة من ناقليتها يجب أن تكون قادرة على الاستجابة لقوي خارجية مطبقة عليها ، كحد خارجي مثلا ، وشريحة السيلكون النقية لا تحقق ذلك . إن شرائح السيلكون النقية هي أقرب إلي العوازل منها إلي النواقل ولا تغير ناقليتها عند تطبيق قوة خارجية عليها . يعرف كل مصمم للعناصر الإلكترونية أن السيلكون تضاف إليه مواد خاصة بطرق تكنولوجية خاصة كي يصبح جاهزا للاستخدام في تصنيع العناصر الإلكترونية، وتسمى عملية إضافة الشوائب الخاصة بعملية الإشابة (التهجين).

الإشابة

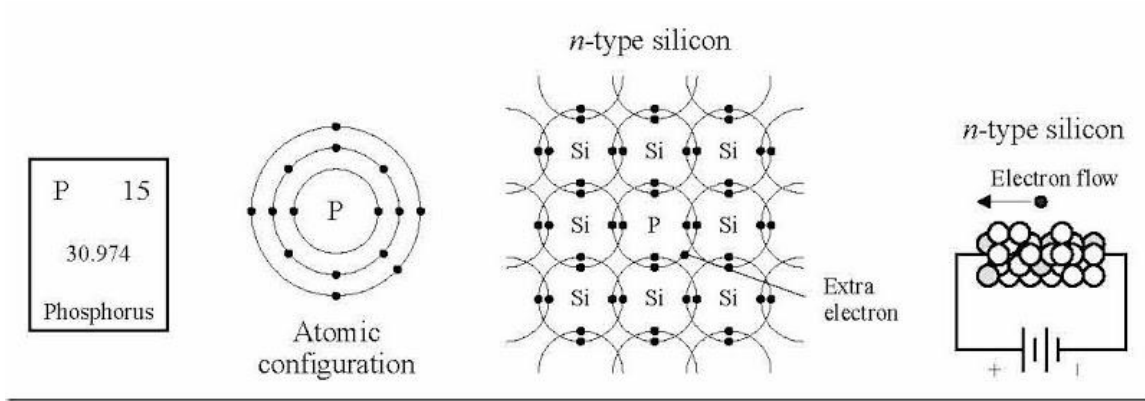
يقصد بالتهجين هو ادخال ذرة معينة لتحل في اماكن الذرات الاصلية وتسمى هذه العملية التطعيم او الاشابة وتكون النسبة ذرة واحدة شائبة مقابل مليون ذرة نصف الناقل تقريبا، ويفيد ذلك في زيادة ناقلية نصف الناقل نتيجة زيادة عدد الشحنات الكهربائية المتحركة (الكترونات ، ثقب) وبالتالي نقصان مقاومته، وتستخدم مواد مختلفة للإشابة مثل الأنتيمون (antimony) والأرسنيك (arsenic) والألمونيوم (aluminium) والغالسيوم (gallium) وتؤمن هذه المواد مواصفات خاصة للشريحة بعد أن تضاف إليها. هناك أيضا مواد أساسية هامة تستخدم في إشابة السيلكون مثل البورون (boron) والفوسفور (phosphorus) عند إشابة شريحة سليكونية بالبورن أو الفوسفور فإن ناقليتها الإلكترونية التكافؤ الأربعة الخارجية للذرة الواحدة تكون مرتبطة مع أربع ذرات مجاورة كما في الشكل وعندما لا توجد إلكترونات حرة فإن تطبيق جهد كهربائي عي شريحة السيلكون لن يؤدي إلي مرور تيار كهربائي غيرها (بسبب عدم وجود حوامل للشحنات حرة الحركة).



الشكل البنية الذرية للسيلكون وشكل يوضح مخطط التركيب البلوري

نصف الناقل الهجين من النمط n

عند إضافة الفوسفور (خماسية التكافؤ) إلى شريحة السيلكون فإن ذرة الفوسفور الواحدة والتي تحوي خمسة إلكترونات في مدارها الخارجي سوف تتشارك بأربعة إلكترونات مع أربع ذرات سيلكون مجاورة وتشكل معها روابط مشتركة أما الإلكترون الخامس للذرة الفوسفور فإنه يبقى حراً ضمن النسيج البلوري للمادة ويمكن أن يشارك في عملية نقل التيار الكهربائي، وعند تطبيق جهد كهربائي على شريحة السيلكون المشابه بالفوسفور فإن الإلكترون سوف ينتقل عبر الشريحة إلى القطب الموجب للجهد المطبق وطبعاً كلما زاد عدد ذرات الفوسفور ضمن شريحة السيلكون يزداد عدد الإلكترونات الحرة ويزداد التيار. يسمى السيلكون المشابه بالفوسفور باسم سيلكون نوع (n) (n-type silicon) وحوامل التيار في هذا السيلكون هي الإلكترونات ذات الشحنات السالبة وتسميته بسيلكون نوع (n) مأخوذة من (negative-change-carrier-type-silicon).

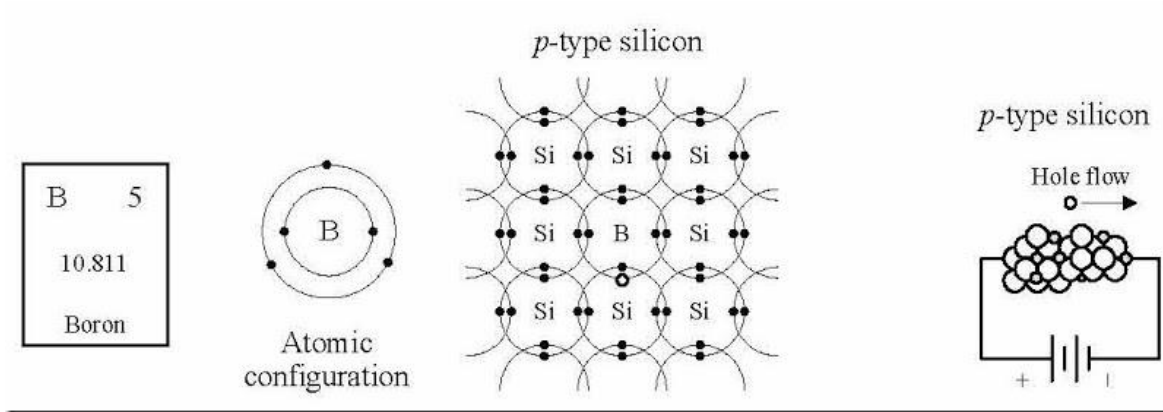


الشكل بنية سيلكون مشاب بالفوسفور وتكون الإلكترونات الحرة

نصف الناقل الهجين من النمط p

إذا أضيف البورون إلي السيلكون، فإن التأثير على الناقلية سوف يكون مختلفا عن تأثير الفوسفور، وذلك لأن البورون يحوي في المدار الخارجي لذرته فقط على ثلاثة إلكترونات تكافؤ، ويشارك البورون بهذه الإلكترونات الثلاثة مع ثلاث ذرات مجاورة من السيلكون كما في الشكل وكي يكتمل عدد الإلكترونات في المدار الخارجي لذرة البورون إلي (٨) ثمانية إلكترونات فإن ذرة البورون تأخذ هذا الإلكترون مكانه فارغا في ذرته أي تتولد رابطة غير مشبعة بين ذرتي سيلكون وتسمي هذه الرابطة غير المشبعة باسم ثقب (hole) وهو موجب الشحنة (لأن الرابطة خسرت إلكترونًا سالب الشحنة). عند تطبيق جهد خارجي علي شريحة سيلكون مشابهة بالبورون، فإن الثقب سوف يتحرك إلي القطب السالب للجهد المطبق، وينتقل إلكترون من رابطة مشتركة مجاورة ليملأ مكان الثقب. علي الرغم من اعتبار الثقب ذا شحنة موجبة إلا أن الثقب لا يحوي شحنة فيزيائية فقط يظهر كما لو أن الثقب له شحنة موجبة وذلك بسبب عدم توازن الشحنات في الذرة التي خسرت إلكترونيا وخلف وراءه ثقبا فعادة تكون شحنات الإلكترونات التي تدور حول نواة ذرة سالبة ومساوية لشحنات البروتونات Protons الموجبة الموجودة في نواة الذرة وعندما تخسر الذرة إلكترونًا تصبح شحنتها الكلية موجبة بمقدار شحنة بروتون موجب واحد أو إلكترون سالب.

يسمي السيلكون المشاب بالبورون باسم سيلكون نوع (p) أو (p-Type silicon) ومعني ذلك أن حوامل الشحنة المتحركة هي الثقوب ذات الشحنات الموجبة (positive-charge-carrier- type silicon) .



الشكل بنية سيلكون مشاب بالبورون وتكون الثقوب الحرة

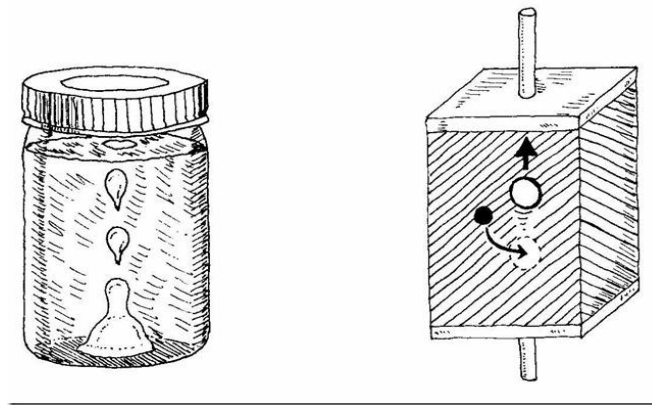
ومما سبق تلاحظ أن كلا من السيلكون نوع (n) قادر علي تمرير التيار الكهربائي والسيلكون نوع (p) يمرر التيار الكهربائي بواسطة الإلكترونات الحرة، أما السيلكون نوع (n) فيمرر التيار بواسطة الثقوب الحرة.

ملاحظة

تحتوي ذرة البورون علي ثلاثة إلكترونات تكافؤ ، أما ذرة السيلكون فتحتوي في مدارها الخارجي علي أربعة إلكترونات تكافؤ . وهذا يعني أن البنية الشبكية للسيلكون المشاب بالبورون تحتوي إلكترونات حرة أقل من الثقوب ، ولكن هذا لا يعني علي الإطلاق بأن السيلكون والذي تأخذ ذرة بورون ليكمل عدد إلكتروناتها السطحية مساويا ثمانية، هذا الإلكترون يجعل شحنة ذرة البورون سالبة ، وهذه الشحنة السالبة تقابل وتساوي الشحنة الموجبة لبروتون النواة التي فقدت ذرتها ذات الإلكترون ، أي أن الشحنة الكلية لمادة نصف ناقلة نوع (p) تكون معتدلة ، وكذلك الشحنة الكلية بالنسبة لمادة نصف ناقلة نوع (n).

ملاحظة ٢

ماذا تعني عندما تقول إن ثقباً يتحرك ؟ وقد ذكرناه أعلاه أن الثقب هو لا شيء أليس هذا صحيحاً . كيف يمكن إذن أن يتحرك هذا اللا شيء ؟ قد يبدو هذا بأنه تعارض في صحة الفكرة ، ولكن عندما يقال بأن ثقباً يتحرك أو أن حوامل الشحنات الموجبة في سيلكون نوع (p) تتحرك ، فإن الإلكترونات في الحقيقة هي التي تتحرك والسؤال الذي يتبادر إلى الذهن هو : أليست حركة الإلكترونات هنا مثل حركة الإلكترونات في مادة سيلكون نوع (n) ؟ والجواب هو بالطبع لا . تخيل أن لديك قارورة مغلقة فيها ماء وأن فيها فقاعة هواء وأن القارورة محكمة الإغلاق ، إذا قلبت القارورة بحيث يصبح طرف السدادة من الأسفل ثم أعدتها إلى وضعها السابق تلاحظ أن فقاعة الهواء تتحرك بعكس اتجاه حركة الماء عند تحريك القارورة وكي تتحرك فقاعة الهواء يجب أن يبتعد الماء عن طريقها في هذه المقارنة يعتبر الماء مشابهاً للإلكترونات في مادة نصف ناقلة نوع (p) أما الثقوب فتشابه فقاعات الماء . عندما يطبق جهد على طرفي مادة نصف ناقلة نوع (p) فإن الإلكترونات المحيطة بذرة البورون تجبر على التحرك باتجاه القطب الموجب للجهد المطبق ، أما الثقب القريب من ذرة البورون فإنه يبدو وكأنه يتحرك باتجاه القطب السالب للجهد المطبق ، وهذا الثقب في الواقع ينتظر قدوم إلكترون من ذرة مجاورة كي يملأ مكان الثقب وهذا الإلكترون القادم من ذرة مجاورة يترك مكانه ثقباً وهكذا يبدو أن الثقوب تتحرك بعكس اتجاه حركة الإلكترونات فالإلكترونات تتحرك باتجاه موجب الجهد الخارجي أما الثقوب فيكون اتجاه حركتها باتجاه القطب السالب للجهد الخارجي.



الشكل مقارنة بين حركة الثقوب في مادة (p) وحركة فقاعات الماء في وعاء

ملاحظة ٣

لماذا نسمي الثقوب بحوامل الشحنات الموجبة ؟ كيف يستطيع اللا شيء أن يحمل شحنة موجبة ؟ عندما يتحرك عبر بلورة المادة المكونة من ذرات السيلكون التي يزيد عددها عن عدد ذرات المادة المشيية ، فإن حركة الثقب تسبب تغيرا طفيفا في شدة الحق الكهربائي حول ذرة السيلكون في البلورة وعندما يتحرك إلكترون ليملاً مكان الثقب السابق فإنه يخلق مكانه ثقباً جديداً وتخسر ذرة السيلكون التي تحرر منها هذا الإلكترون شحنة سالبة تساوي شحنة الإلكترون الذي خسرتة وتبقى شحنتها مع شحنات الإلكترونات الموجودة في الذرة وتعبير أو اصطلاح حوامل الشحنات الموجبة يعود في الأصل إلى الشحنة الموجبة لنواة الذرة التي فقدت إلكترون.

تطبيقات السيلكون

إن البلورات السيلكونية الجديدة المشابة هي نواقل وبالتالي فإن لدينا نوعين من النواقل ، الأول وهو السيلكون نوع (n) يحقق الناقلية من خلال حركة الإلكترونات والثاني وهو النوع (p) يحقق الناقلية من خلال حركة الثقوب , وهذا الشيء هام جداً لأن أسلوب نقل التيار الكهربائي في السيلكون من نوع (n) والسيلكون نوع (p) هام جداً في تصميم العناصر الإلكترونية كالديودات , والترانزستورات والخلايا الشمسية.

ثنائي الوصلة غير المستقطب (p-n)

نقوم نصنع شريحة من نصف ناقل حيث يتم تهجين نصفها بذرات من النوع n والنصف الآخر من النوع p فتنشأ بينهما منطقة رقيقة تسمى منطقة العبور.

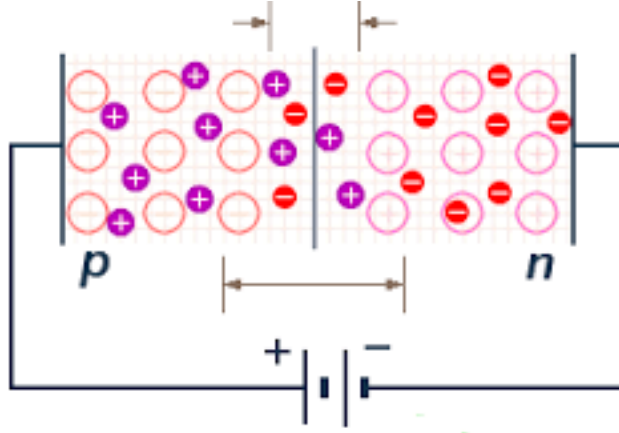


تنتقل بعض الالكترونات المنطقة (n) نحو المنطقة (p) وتنتقل بعض ثقب المنطقة (p) نحو المنطقة (n) خلال منطقة العبور، فيتشكل لدينا تيار يتجه من المنطقة (p) الى المنطقة (n) حيث تنتقل الالكترونات الى المنطقة (p) وتنتقل الثقب الى المنطقة (n) فيتشكل شحنات موجبة في المنطقة (n) وشحنات سالبة في المنطقة (p) ، حيث يتولد فرق في الكمون بين المنطقتين حيث تكسب المنطقة كمونا سالبا والمنطقة (n) كمونا موجبا حيث تتزايد شدة فرق الكمون تدريجيا مع استمرار انتقال حاملات الشحنة حتى يصبح كافيا لمنع انتقال حاملات الشحنة فتصبح الوصلة متوازنة، يدعى عندها فرق الكمون بـ (توتر الحاجز).

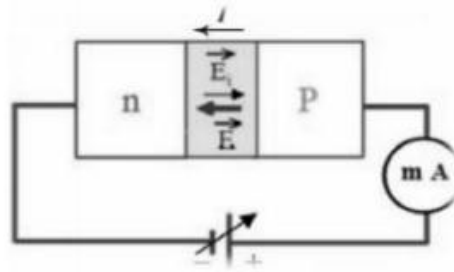
ثنائي الوصلة المستقطب (p-n)

هو توصيل طرفي الوصلة مع قطبي مولد نيار مستمر، ويمكن بطريقتين:

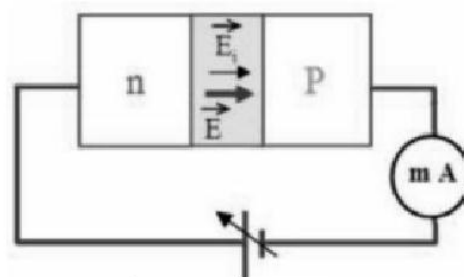
١- الطريقة الاولى: توصيل الاتجاه الامامي (تطبيق توتر مباشر)



حيث يتم وصل المنطقة (n) بالقطب السالب والمنطقة بالقطب الموجب (p) ، ونوصل مقياس ميلي أمبير، فيولد التوتر المطبق بين طرفي الوصلة حقلا كهربائيا يعاكس جهة الحقل الكهربائي الداخلي فيؤدي الى اضعافه مما سيسمح بانتقال حاملات الشحنة الاكثرية عبر منطقة العبور فيمر تيار كهربائي فينحرف مؤشر مقياس الميالي أمبير.



الطريقة الثانية : توصل الاتجاه العكسي (تطبيق توتر معاكس)

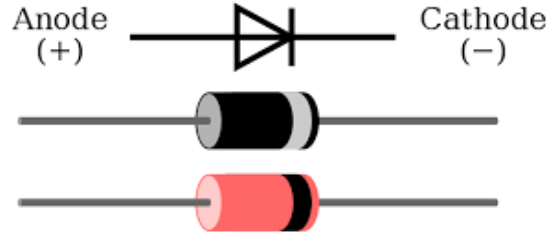


هذه الطريقة يتم فيها وصل المنطقة (n) بالقطب الموجب والمنطقة (p) بالقطب السالب، ومقياس ميلي امبير، فيولد التوتر المطبق بين طرفي ثنائي الوصلة حقلًا كهربائيًا له نفس جهة الحقل الكهربائي الداخلي، فيؤدي الى زيادة معاكسة انتقال حاملات الشحنة عبر منطقة العبور، فتظهر في الوصلة مقاومة كبيرة فتمنع مرور تيار الاكثريّة، ولا يظهر أي انحراف في مؤشر مقياس ميلي امبير .

وعندما نطبق تيار متناوب على ثنائي الوصلة فيمر تيار كهربائي في الدارة في نصف الدور الاول الذي يحقق توترا مباشرا، ولا يمر تيار في نصف الدور الذي يحقق توترا عكسيا وهذا يعرف بتقويم التيار المتناوب.

الديود (الثنائي)

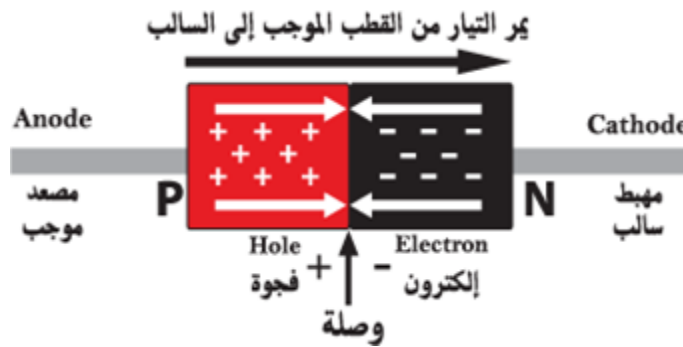
الثنائي عنصر إلكتروني يحتوي على طرفين (المصعد والمهبط)



يسمح الثنائي بمرور التيار الكهربائي في اتجاه واحد وذلك عندما يكون جهد المصعد موجب بالنسبة للمهبط (توصيل أمامي)، ولا يمر إلا تيار ضئيل جداً عندما يكون جهد المصعد سالباً بالنسبة للمهبط (توصيل عكسي)، وهكذا يمكن اعتبار الديود كمفتاح جهد يوصل في أحد الاتجاهات ولا يوصل في الاتجاه الآخر.

يتكون الثنائي من شريحتين من مواد نصف ناقلة، إحداهما سالبة والأخرى موجبة.

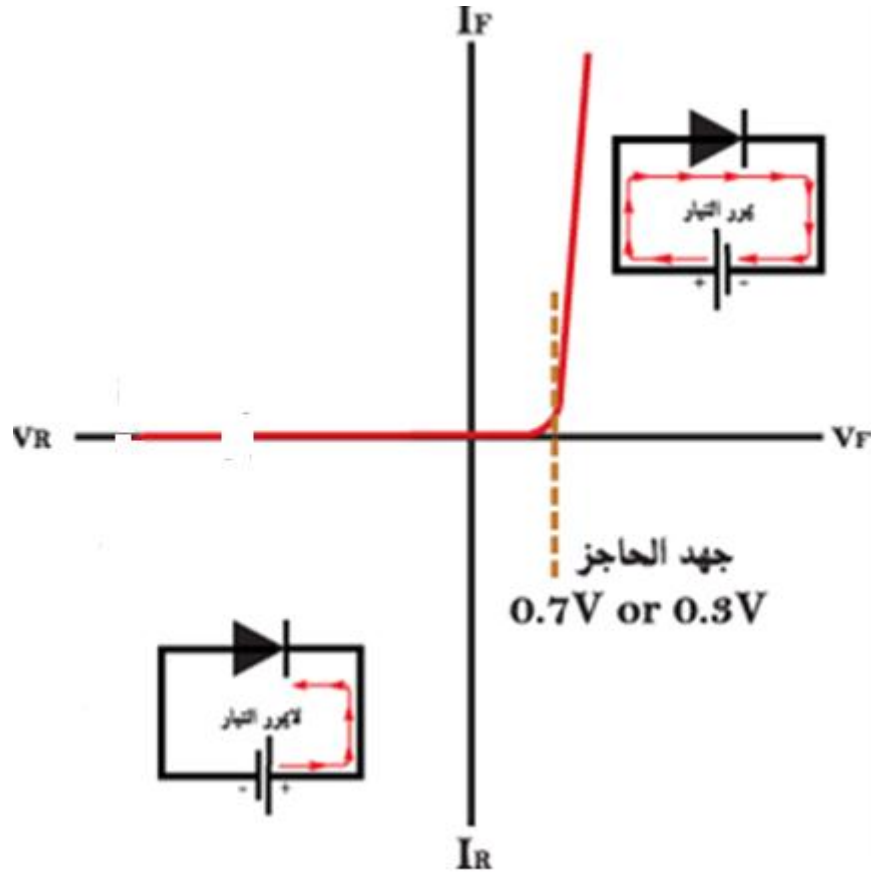
يفصل الشريحة الموجبة (P) والتي تحتوي على الثقوب الموجبة كحاملات للشحنة، عن الشريحة السالبة (N) والتي تحتوي على الإلكترونات السالبة كحاملات للشحنة، بمنطقة فاصلة تدعى المنطقة المجردة، وتشير الأسهم الموضحة إلى اتجاه حركة كل من تيار الثقوب والتيار الإلكترونيات.



خواص الثنائي

يمرر الثنائي تياراً عندما يكون موصلاً في الاتجاه الأمامي، ولا يمرر تياراً عندما يكون موصلاً في الاتجاه العكسي.

ويوضح الشكل منحنى خواص الثنائي في الحالتين والذي يمكن إيجازه في النقاط التالية:



١. يمرر التيار الكهربائي

يسمح الثنائي للتيار بالمرور في الاتجاه الأمامي عندما يتعدى الجهد الأمامي ما يسمى بالجهد الحاجز والذي يبدأ بعده الثنائي في التوصيل، وتكون قيمتا الجهد الحاجز ٠,٧ فولت في ثنائيات السليكون و ٠,٣ فولت في ثنائيات الجرمانيوم

٢. لا يمرر التيار الكهربائي

الجزء السفلي من المنحنى يمثل حالة التوصيل العكسي حيث يبقى التيار تقريبا مساويا للصفر .

تطلق على حركة التيار من الشريحة الموجبة إلى السالبة باسم الانحياز الأمامي في هذه الحالة يعمل الديود كأى موصل جيد للتيار.

اما حالة عدم التوصيل اي جهد موجب على الشريحة السالبة وسالب على الشريحة الموجبة

ديود زينر

يتشابه الثنائي زينر مع الثنائي العادي و لكن يختلف ببعض خصائصه حيث يتم إضافة شوائب إلى الثنائي شبه الموصل لنحصل على الثنائي زينر والذي يتميز بخاصية التوصيل في حالة الانحياز العكسي تحت ثبات الجهد.



ديود زينر عبارة عن ديود عادي ولكن تصميمه مختلف إذ أن الشريحة النصف الناقلة من النوع (p) على حالها ولكن الطرف (n) عبارة عن نقطة موضوعة على الشريحة (p) ومن خلال مساحة وسمك تلك النقطة الشريحة (n) يتحدد جهد واستطاعة زينر

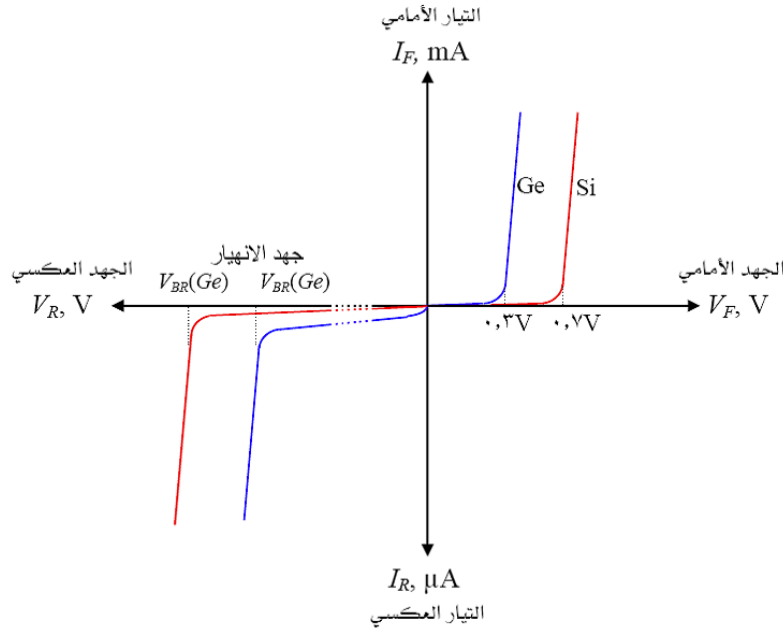
وللزينر حالتين من العمل إذ أنه يعمل في الاتجاهين الأمامي والعكسي فهو يتصرف في الاتجاه الأمامي تصرف الديود العادي تماما وفي الاتجاه العكسي يعمل كمنظم جهد .

يوصل المهبط على القطب الموجب للتغذية والمصعد مع القطب السالب للتغذية وعند وصول الفولت إلى قيمة أعلى من فولتية الزينر العكسية وهي نقطة عمل الزينر فإنه يفتح للتيار لكي يذهب إلى القطب السالب مع المحافظة على ثبات الجهد عند نقطة عمله في الانحياز العكسي وتكون كمية الجهد التي يمررها إلى القطب السالب هي مقدار جهد التغذية ناقص جهد زينر

فلو كان عندي مصدر تغذيته ذو جهد ١٢ فولت ووضعت زينر على التفرع وبانحياز عكسي قيمته ٦,١ فولت فكمية الجهد الخارجة من الزينر إلى القطب السالب تكون

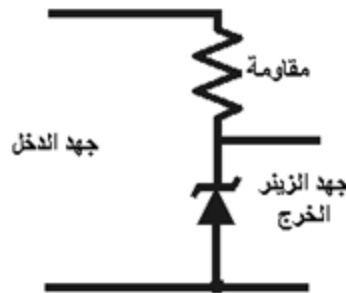
$$12 - 6.1 = 5.9 \text{ فولت}$$

أي تبقى الجهد ثابت على مهبط زينر عند قيمة الجهد العكسي مهما حصل إلا إذا إنهار وطبعا لكل زينر جهد انهيار يصبح بعد هذا الجهد (جهد الانهيار) إما على شكل شريط أي يشكل دائرة قصر أو يقطع يعني مقاومة لانهاية



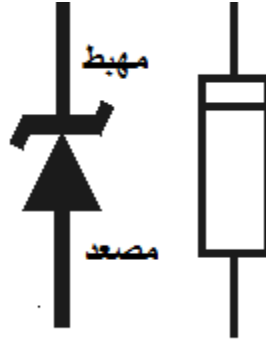
مميزة الفولط أمبير لذيود زينر

ويمكن وضع مقاومة على التسلسل مع الديوود للحماية من التيارات الزائدة



كما يمكن وصل أكثر من زينر على التفرع مع المحافظة على أن يكونوا ذات قيمة عمل الزينر في الوصل العكسي متماثلة وذلك لزيادة الاستطاعة ويمكن وضعه مع مجزئ للجهد للمحافظة على خرج مجزئ الجهد ثابت وذلك في حالة الحصول على جهد مقارنة

يستخدم زينر في دوائر تنظيم الجهد، و يظهر الشكل التالي رمز الثنائي زينر



الفرق بين الديود العادي وديود زينر

١. الديود العادي يسمح للتيار بالمرور في اتجاه واحد يسمى الاتجاه ذات الانحياز أو القطبية الأمامية ولا يسمح بمرور التيار في الاتجاه العكسي.
٢. زينر يقوم بنفس العمل في الاتجاه الأمامي، وعند عكس القطبية فان الجهد يزداد ويزداد التيار بقيمة صغيرة جداً، ولكن عندما يصل الجهد العكسي إلى قيمة معينة (والتي هي الخاصية الرئيسية في خواص ديود زينر) يبدأ التيار في الزيادة الملحوظة كما هو موضح بمنحنى الخواص المميزة للزينر وإذا وصلنا زيادة الجهد العكسي فوق V_Z يزداد التيار بشكل كبير مع الزيادة الطفيفة في الجهد العكسي .