بسم الله الرحمن الرحيم

مقالة في

أشباه الموصلات

Semiconductors

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

أسامة عمر مسعود العِشّي

الجميل - ليبيا

حقوق النشر غير محفوظة

فيزياء أشباه الموصلات

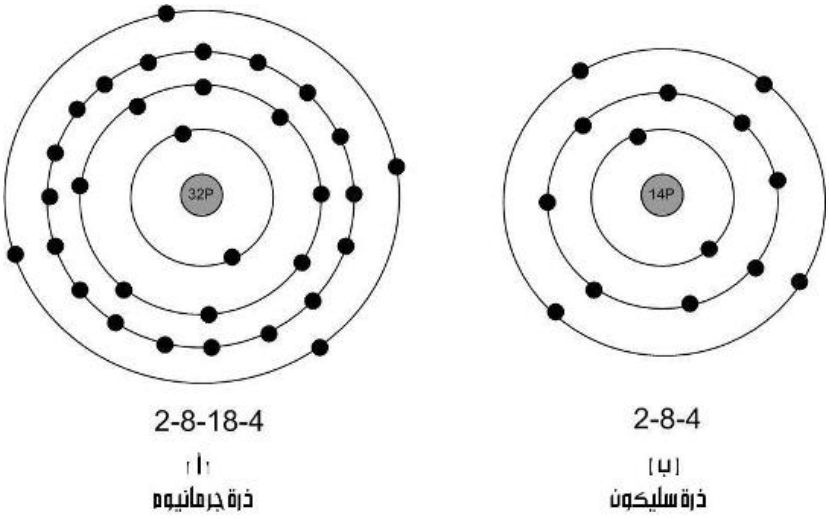
ستتركز مناقشتنا في هذه المقالة إن شاء الله على بعض الأشياء المهمة والمتعلقة بأشباه الموصلات والتي تتمثل في بعض خصائص النظريات الذرية . وتلك الأشياء المتعلقة بأشباه الموصلات مثل الإلكترونات الحرة Free electrons ، والفجوات Holes ، وإضافة الشوائب إلى الموصل (التطعيم) Doping .

ذرات السليكون والجرمانيوم

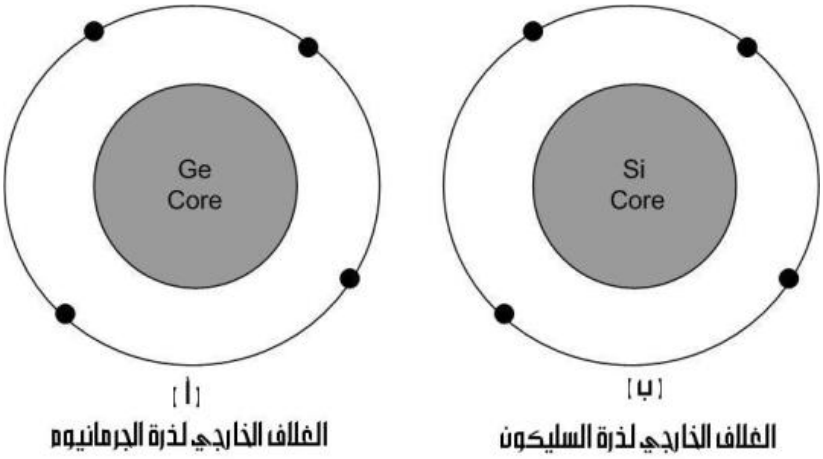
في هذا القسم سنقوم بفحص البنية الذرية للجرمانيوم Germanium والسليكون Silicon ، لأن كلاً من المادتين تستخدم بشكل واسع في صناعة الترانزستورات .
أكثرنا يعلم أن المادة متكونة من ذرات ، وبأن الذرة تحتوي على نواة تحيط بها هالة من الإلكترونات . وإذا فحصنا ذرة جرمانيوم منفردة سنجد أنها تحتوي على نواة بها 32 بروتون ، عندما تكون هذه الذرة في الحالة العادية Normal State فإنه سيكون بها 32 إلكترون تدور حول النواة. إن هذه الإلكترونات الدوارة حول النواة تتوزع بنمط ثابت وتملأ الأغلفة Shells المحيطة بالنواة .
الشكل (1-1-أ) يوضح بشكل مبسط ذرة الجرمانيوم حيث نرى أن في مركز هذه الذرة نواة ، هذه النواة بها 32 بروتون ، وعندما نمحق النظر في الأغلفة الخاصة بهذه الذرة سنرى أن الإلكترونات تتوزع بنمط معين ، هذا النمط يكون وفقاً لهذا الترتيب :

$$2,8,18,\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots,2n^2$$

حيث أن n تمثل عدد الأغلفة (أي الغلاف الأول ثم الثاني ثم الثالث ، وهكذا ..) ، وبمعناً آخر أنه يوجد إلكترونين في الغلاف الأول للذرة ، وثمانية إلكترونات في الغلاف الثاني، وثمانية عشر إلكتروناً في الغلاف الثالث . أما بالنسبة لآخر أربعة إلكترونات فهي موجودة في الغلاف الخارجي للذرة.
وبشكل مشابه سنأخذ ذرة سليكون منفرة ونفحصها ، سنرى أن بنواة هذه الذرة 14 بروتون، الشكل (1-1-ب) يرينا أن الغلاف الأول المحيط بالذرة يحتوي على إلكترونين ، بينما في الغلاف الثاني سنرى أنه يحتوي على ثمانية إلكترونات ، وتبقي أربعة إلكترونات فقط من مجموع الإلكترونات المحيطة بالذرة ، ستراها متوزعة في الغلاف الخارجي للذرة .



الشكل (1-1) ذرتي الجرمانيوم والسليكون



الشكل (1-2) الأغلفة الخارجية لذرتي الجرمانيوم والسليكون

نحن بشكل مبدئي سنهتم بالطبقة الخارجية External Shell لذرتي الجرمانيوم والسليكون، وكنتيجة لذلك سنبسط شكل هذه الذرات كما في الشكل (1-2-أ) الذي نرى فيه غلافاً يمثل الغلاف الخارجي لذرة الجرمانيوم، وبداخل هذا الغلاف سنرى ما سنسميه بلب الجرمانيوم Germanium Core ، هذا اللب يحتوي على النواة زائداً الأغلفة الداخلية للذرة .

وبشكل مشابه سنعيد الكرّة مع ذرة السليكون والمبينة في الشكل (1-2-ب) الذي يرينا لب السليكون وقد أحاط به الغلاف الخارجي الذي يحتوي على أربعة إلكترونات .

بلورات الجرمانيوم والسليكون

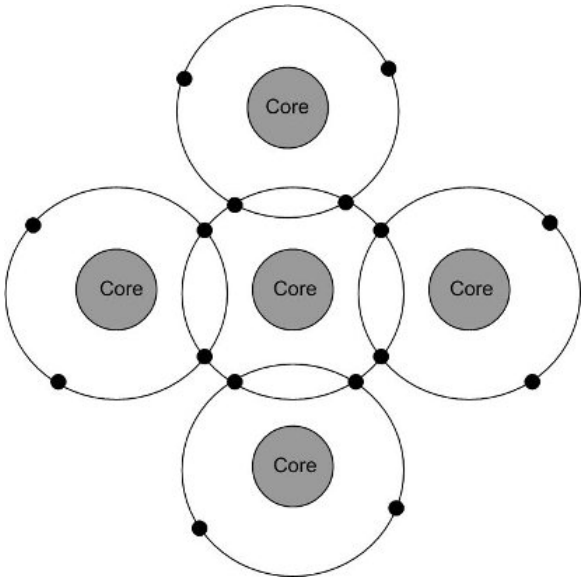
في القسم السابق ناقشنا ذرات الجرمانيوم والسليكون منفردة . والآن نحن بصدد مناقشة كيفية ارتباط عدد من ذرات الجرمانيوم أو السليكون لتكوين المادة الصلبة .

دعنا الآن نبدأ مع ذرات الجرمانيوم :

بما أن الغلاف الخارجي لذرة الجرمانيوم يحتوي على أربعة إلكترونات ، فهذا يعني أن الغلاف ينقصه أربعة إلكترونات حتى يصل إلى حالة التشبع (ثمانية إلكترونات) . ومن حقيقة أن ذرات الجرمانيوم أثناء ارتباطها لتكوين المادة فإن غلافها الخارجي سيحتوي على ثمانية إلكترونات ، فإن أربعة من هذه الثمانية ستكون إلكترونات تساهمية من الذرات الأربعة المجاورة. هذا الترتيب للذرات المتجاورة يدعى بالتكوين البلوري Crystal structure .

وأثناء تفحصنا لبلورة الجرمانيوم النقي سنرى أن كل ذرة محاطة بأربعة ذرات مجاورة والتي في الحقيقة تتشارك بإلكتروناتها مع الذرة المركزية .

الشكل (3-1) يجسد هذا المفهوم بشكل أكثر وضوحاً ، حيث نلاحظ أن الذرة المركزية تملك ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي، أربعة من هذه الإلكترونات تعود إلى الذرة المركزية ، بينما الأربعة المتبقية فهي تعود إلى الذرات المجاورة لأن كل ذرة مجاورة تشارك بإلكترون واحد في الغلاف الخارجي للذرة المركزية . وتبعاً لذلك فإن كل ذرة مجاورة لها أربع ذرات مجاورة لها ، وبهذه الطريقة فإن كل ذرة في البلورة ستملك ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي .



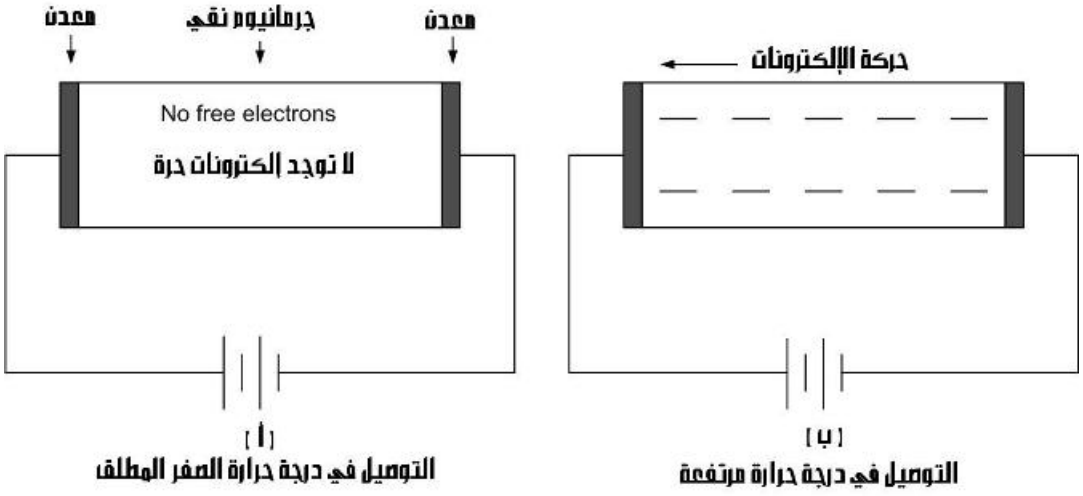
الشكل (3-1) الذرات بداخل البلورة

على نحو مماثل فإن ذرات السليكون ترتبط معاً لتكوين بلورة السليكون ، والتي بها كل ذرة لها أربعة ذرات متجاورة تشترك معها في الإلكترونات . وأيضاً فإن ذرات السليكون سوف تمتلك ما مجموعه ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي .

وكما قلنا سابقاً أن الغلاف الخارجي لذرتي الجرمانيوم والسليكون ما لم يحتوي على ثمانية إلكترونات فهو مازال ناقصاً ، وبسبب هذا النقص سنجد أن هناك قوة من الجذب تعمل على جذب هذه الإلكترونات باتجاه الذرة ، وتنتهي هذه القوة باكتمال عدد الإلكترونات إلى ثمانية. هذه الإلكترونات ستتمسك بإحكام أو بمعنىً آخر ستشد نحو الذرة ولا تستطيع الهروب بعيداً عنها ما لم تكن هناك قوة خارجية مطبقة .

التوصيل في الجرمانيوم والسليكون النقيين

كيفية توصيل الجرمانيوم أو السليكون للتيار الكهربائي ؟ للإجابة على هذا السؤال انظر إلى الشكل (4-1-أ) حيث تلاحظ أن بلورة الجرمانيوم النقي قد وُصِلت بالبطارية ، فعندما تكون الحرارة في درجة الصفر المطلق سنجد بأنه ليس هناك تيار في الدائرة ، وسبب ذلك هو انه لا توجد إلكترونات حرة بداخل البلورة . إن الإلكترونات التي تكون في الغلاف الخارجي تكون ذات توصيل جيد ضمن الذرات المنفردة ولا يمكنها المساهمة في التيار المار. بينما في البلورة وبسبب هذا التماسك والإحكام للإلكترونات باتجاه الذرة فإنه لا يمكنها المشاركة في التيار المار، لذلك فإن درجة الصفر المطلق في بلورة الجرمانيوم هي درجة العزل (عدم مرور تيار) .



الشكل (4-1) التوصيل في شبه الموصل

أثناء زيادة درجة حرارة البلورة فإن الطاقة الحرارية ستعمل على إزاحة بعض إلكترونات الغلاف الخارجي للذرة (وذلك من أجل توفيرها لمرور التيار) هذه الإلكترونات المزاحة تدعى بالإلكترونات الحرة Free electrons . الشكل (4-1-ب) يشير إلى هذه الإلكترونات الحرة بالإشارات السالبة ، ونعني بالحرة أن لهذه الإلكترونات السماحية في الحركة باتجاه واحد وذلك حسب الشكل من اليمين إلى اليسار والتي هي في الحقيقة تمثل مرور التيار ، إن قيمة هذا التيار صغيرة جداً بسبب العدد الذي ربما هو قليل جداً من الإلكترونات المتحررة بفعل الطاقة الحرارية.

وبالطبع فإنه أثناء زيادة درجة الحرارة إلى حد كبير فإنه سيتحرر عدد أكبر من الإلكترونات الحرة من الأغلفة الخارجية للذرات، وهذا يعني مرور تيار أكبر في شريحة البلورة .

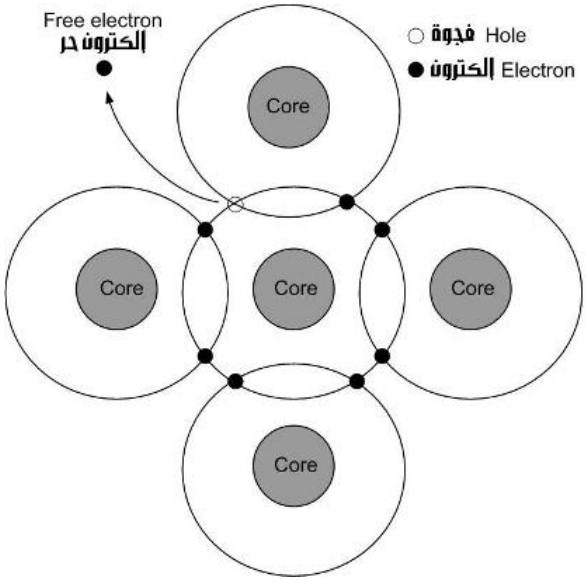
في درجة حرارة الغرفة (حوالي 25° م) وجدنا أن كمية التيار المنتجة قليلة جداً لاعتبار الجرمانيوم موصل للتيار ، ولهذا فهو أقرب إلى العازل منه إلى الموصل ، وكان هذا هو سبب تسميتنا لبلورة الجرمانيوم بشبه الموصل .

إن بلورة السليكون تتصرف تقريباً بنفس الشيء عندما يتعلق الأمر بالتيار الكهربائي، ففي درجة حرارة الصفر المطلق فإن كل الإلكترونات تتماسك بإحكام في اتجاه ذراتهم، أي أن بلورة السليكون في هذه الحالة تتصرف كالعازل . أثناء زيادة درجة الحرارة فإن عدد من الإلكترونات المنزوعة من الغلاف الخارجي للذرات تصبح حرة ومتاحة لمرور التيار في البلورة .

إن تماسك الإلكترونات في ذرات السليكون هو أكثر من تماسكها في ذرات الجرمانيوم ، وكنتيجة لذلك فإننا نحتاج إلى طاقة حرارية أكبر لإزاحة الإلكترونات من الخارجي للذرة ، لهذا فإننا نلاحظ اختلافاً مهماً بين السليكون والجرمانيوم ، وهو أنه في نفس درجة الحرارة فإن هناك إلكترونات حرة منتجة في ذرات السليكون أقل من تلك المنتجة في ذرات الجرمانيوم .

مفهوم الفجوات .

إن كلمة مفهوم الفجوات أمر يثير الاهتمام ، ولكي نفهم هذا المفهوم بشكل أكثر وضوحاً فلننظر في الشكل (5-1) حيث نرى نموذجاً لذرة الجرمانيوم (أو ذرة السليكون) محاطة بأربع ذرات متجاورة كما أشير إليه مسبقاً ، وكما علمنا أيضاً أن الطاقة الحرارية تعمل على إزاحة إلكترون من الغلاف الخارجي للذرة .



الشكل (1-5) إنتاج الفجوات

عندما يحدث هذا سيصبح الإلكترون المنزوع حر الحركة وقادراً على التحرك في داخل بنية البلورة . وأثناء مغادرته لمكانه الأصلي فإنه سيترك مكاناً شاغراً في الغلاف الخارجي للذرة يُدعى بالفجوة Hole ، هذه الفجوة ستتصرف وكأنها شحنة موجبة تعمل على أسر وجذب أي إلكترون في الجوار بشكل فوري .

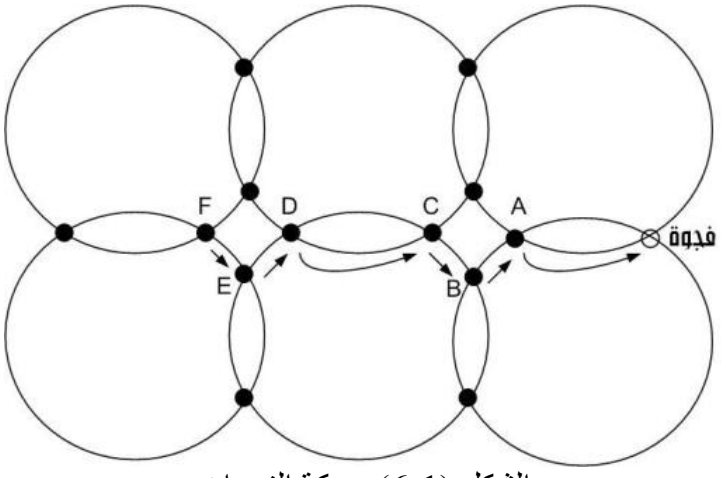
في بلورة الجرمانيوم أو السليكون النقيين فإنه من الطبيعي سينتج عدد متساوي من الإلكترونات الحرة والفجوات بفعل الطاقة الحرارية ، حركة هذه الإلكترونات الحرة تكون حركة عشوائية في كافة أنحاء التركيب البلوري . فمن حين إلى آخر تقترب هذه الإلكترونات من الفجوات كثيراً بما فيه الكفاية لكي تُجذب بواسطة الفجوة ، عند حدوث هذا فإن الفجوة ستختفي وعندها يصبح الإلكترون الحر إلكتروناً مقيداً . ويطلق على هذه العملية بعملية إعادة الارتباط Recombination .

إن ما يجري بداخل البلورة في لحظة واحدة يمكننا أن نوجزه في عدة نقاط :-

1- ظهور بعض الإلكترونات الحرة والفجوات الجديدة بفعل الطاقة الحرارية .
2- إعادة الارتباط بين الإلكترونات الحرة والفجوات ضمن البلورة .
3- قد توجد بعض الإلكترونات الحرة والفجوات في مرحلة يمكن أن نضعها بين المرحلتين السابقتين ، هذه المرحلة تختلف عن سابقاتها إذ أنه لم يحدث ارتباط بين الإلكترونات الحرة والفجوات بعد. يدعى الوقت الذي لم يتم فيه الارتباط بعد بمعدل الحياة Lifetime .

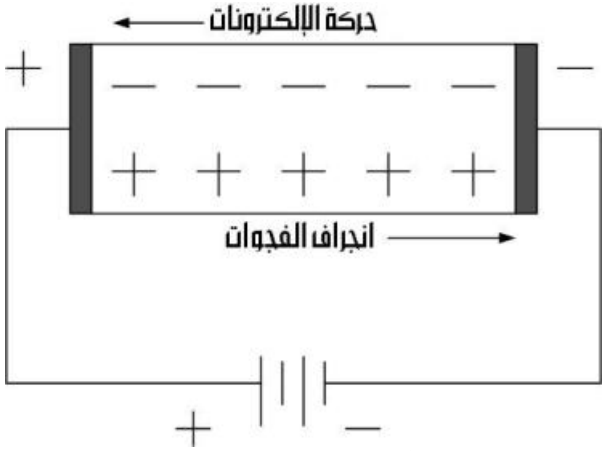
في الحقيقة أنه يوجد نوعان من مكونات التيار في أشباه الموصلات إن صح التعبير، حركة الإلكترونات هي المكون الأول ، وحركة الفجوات هي المكون الثاني . وقد تعرضنا بإيجاز لكيفية حركة الإلكترونات وهي موضحة في الشكل (1-4) .

والفجوات هي الأخرى تتحرك أيضاً ، ولترى كيف يحدث ذلك انظر إلى الشكل (1-6) وعند الناحية اليمنى من الشكل ، حيث نرى أن المجاور لهذه الفجوة هو رابطة إلكترون (عند الموضع A) ، ستعمل هذه الفجوة على جذب رابطة الإلكترون إليها، وعند حدوث ذلك فإن الفجوة الأصلية ستختفي وتظهر فجوة جديدة في الموضع A ، ومرة أخرى ستعمل الفجوة الجديدة (التي في الموضع A) على جذب رابطة الإلكترون التي في الموضع B ، وعند حدوث ذلك فإن الفجوة ستختفي في الموضع A وتظهر في الموضع الجديد B .



الشكل (1-6) حركة الفجوات

مكتبة أسامة العتيبي



الشكل (1-7) مكونات التيار

وتستمر العملية بهذا الشكل بحيث تتحرك رابطة الإلكترونات على طول المسار المتعرج المشار إليه بالأسهم . وبهذه الطريقة يمكن للفجوات أن تنتقل من ذرة إلى أخرى ، مع ملاحظة أن الفجوات تتحرك بعكس اتجاه الإلكترونات .

في غياب المجال الكهربائي فإن حركة الفجوات تصبح حركة عشوائية وفي كل الاتجاهات، لذلك لن يكون هناك تيار صافي أو كلي في أي اتجاه . على أية حال إذا كان المجال الكهربائي ضمن البلورة فإن التيار الكلي سيأخذ اتجاه واحد وهو اتجاه المجال الكهربائي، ففي الشكل (1-7) نرى أن البطارية موصلة بشبه موصل نقي ، فإنه وبسبب الحرارة ظهرت الإلكترونات الحرة التي تمثلها الإشارة السالبة (-) ، والفجوات التي تمثلها الإشارة الموجبة (+) . وبسبب قطبية البطارية فإن الإلكترونات الحرة ستتجه باتجاه اليسار ، بينما الفجوات ستتحرك باتجاه اليمين . وتستمر الفجوات والإلكترونات الحرة بالتوالد بفعل الطاقة الحرارية ، والتي قد تشارك في مرور التيار .

لاحظ أن المكونين المميزين للتيار في الشكل (1-7) . انجراف الإلكترونات الحرة من اليمين إلى اليسار هو المكون الأول للتيار ، حيث أنه عند وصول الإلكترونات إلى النهاية اليسرى لشبه الموصل فإنها ستجمع بواسطة الصفيحة المعدنية ثم تُدخل إلى الطرف الموجب للبطارية ، وفي أثناء ذلك تعمل النهاية السالبة للبطارية على وضع الإلكترونات الحرة في النهاية اليمنى لشبه الموصل ، عندها سيحدث ارتباط بين الإلكترونات الحرة التي مصدرها البطارية وبين الفجوات (وهي المكون الثاني للتيار) في البلورة ، مكونة بذلك الرابطة الإلكترونية Bound Electrons . وفي أثناء ذلك تتولد فجوات جديدة (التي ينتج عنها إلكترونات حرة جديدة) في داخل البلورة بفعل الطاقة الحرارية ، وبهذه الطريقة يبقى تدفق التيار مستمراً ولو بنسبة ضئيلة! .

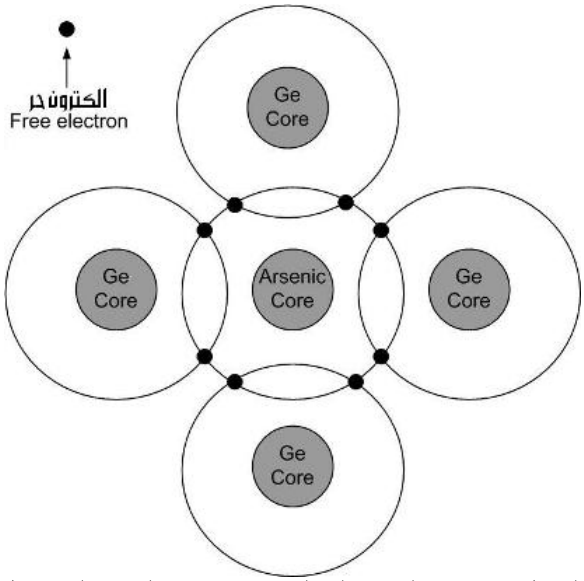
هناك نقطة يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار وهي أن الفجوات ليست ذات تغيرات موجبة ، ولكنها ببساطة عبارة عن موضع شاغر في الغلاف الخارجي للذرة . حيث أشارت بعض الدراسات والتجارب إلى أن الفجوات تتحرك وتتصرف وكأنها ذات شحنة موجبة . ولهذا السبب فإننا سوف نستخدم الإشارة الموجبة (+) لتمثيل الفجوة .

الشوائب في أشباه الموصلات

كما قلنا سابقاً أن الإلكترونات الحرة والفجوات تنتج بواسطة الطاقة الحرارية وذلك أثناء تأثيرها في شبه الموصل النقي ، ولكن من ناحية عملية فإن الطاقة الحرارية لن تنتج إلا عدد قليل جداً من الإلكترونات والفجوات (أي تيار قليل جداً) . وحتى نزيد عدد الإلكترونات الحرة والفجوات فإننا سنعتمد على طريقة جديدة تدعى بعملية إضافة الشوائب إلى شبه الموصل (التطعيم) Doping ، وهي تعني ببساطة أنه يمكننا إضافة شوائب ذرية إلى بلورة الجرمانيوم أو السليكون . إن شبه الموصل الذي تضاف إليه الشوائب يدعى بشبه الموصل الفعلي Intrinsic Semiconductor .

إن الطريقة الوحيدة لتطعيم الجرمانيوم النقي (أو السليكون النقي) هي بتحطيم البنية التركيبية للبلورة وذلك بصهرها، ثم بإضافة كمية من المادة الشائبة التي تحتوي على خمسة إلكترونات في غلافها الخارجي (مثل الزرنيخ ، الفسفور، الأنتيمون) . فعلى سبيل المثال لو أضفنا كمية صغيرة من عنصر الزرنيخ ، فإن ذرات الزرنيخ سوف تنتشر في كافة أنحاء الجرمانيوم المنصهر ، وأثناء برود الجرمانيوم فإن البلورة الصلبة سوف تتشكل ، ومرة أخرى فإننا سنجد أن كل ذرة داخل التركيب البلوري تحيط بها أربع ذرات متجاورة تتشارك معاً في إلكترونات الغلاف الخارجي . لكن عند فحصنا للبلورة على المستوى الذري فإننا سنجد أن أغلب الذرات هي ذرات جرمانيوم ، ومن حين إلى آخر نجد ذرة زرنيخ ، هذه الذرة الزرنيخية إن جاز القول ستأخذ مكان ذرة الجرمانيوم في التركيب البلوري ، وكنتيجة لذلك فإنه سيكون لها أربع ذرات متجاورة ، ففي الشكل (1-8) نرى أن ذرة الزرنيخ المركزية تمتلك ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي ، هذه الذرة أصلاً لها خمس إلكترونات في غلافها الخارجي . وكل ذرة جرمانيوم ستشارك بإلكترون واحد من غلافها الخارجي مع ذرة الزرنيخ المركزية ، وبما أن ذرة الزرنيخ المركزية تملك أصلاً خمسة إلكترونات في غلافها الخارجي أي أنها تحتاج إلى ثلاثة إلكترونات لكي تصل إلى مستوى التشبع وهو ثمانية إلكترونات فإنها تحتاج إلى ثلاثة إلكترونات من ذرات مجاورة ، وحيث أنه عندنا أربعة ذرات جرمانيوم مجاورة وكل منها تشارك بإلكترون وحيد ، عندها سيكون هناك إلكترون زائداً ، هذا الإلكترون سيصبح إلكتروناً حراً .

مكتبة أسامة العتيبي

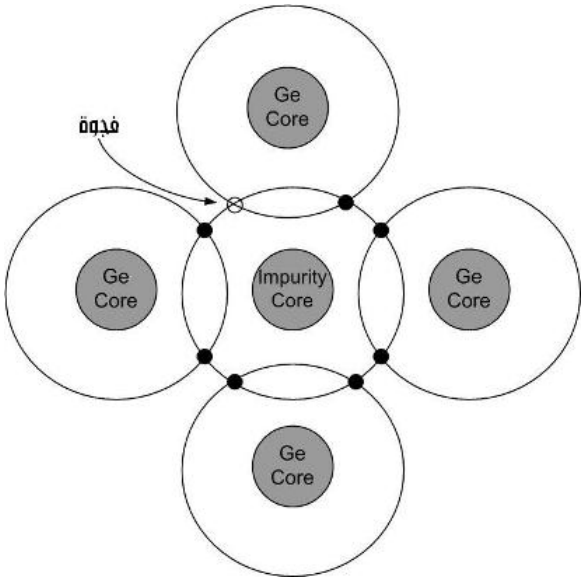


الشكل (1-8) النوع السالب N-type لشبه الموصل

إذاً إنه من الواضح أن كل ذرة زرنيخ تضاف إلى شبه الموصل ستكون سبباً في إنتاج إلكترون حر جديد ، وبواسطة التحكم في كمية الزرنيخ المضافة يمكننا التحكم بعدد الإلكترونات الحرة المنتجة في البلورة المطعمة .

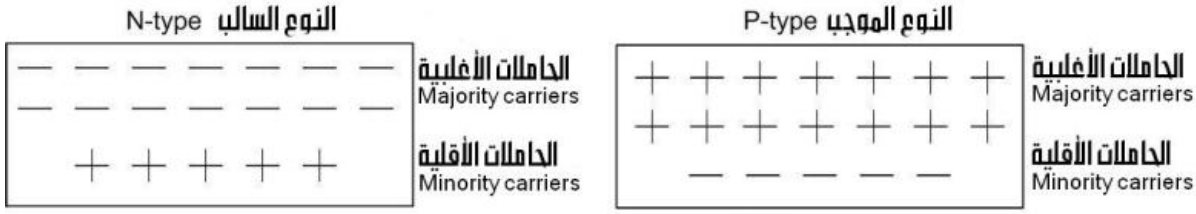
إن شبه الموصل الذي طعّم بعنصر له خمس إلكترونات في غلافه الخارجي يسمى بشبه الموصل من النوع السالب N-Type ، حيث N هي الحرف الأول من كلمة Negative وهي تعني السالب كما تعلمون ، وبالإشارة إلى أن زيادة الإلكترونات الحرة في بلورة الجرمانيوم المطعّمة سيغلب على عدد الفجوات التي ربما أنتجت بفعل الطاقة الحرارية ، عندها ستكون الإلكترونات الحرة هي الحاملات الأغلبية Majority Carriers بينما الفجوات ستكون هي الحاملات الأقلية Minority Carriers .

ولعكس هذه العملية ، أي بجعل الفجوات هي الحاملات الأغلبية والإلكترونات الحرة هي الحاملات الأقلية فالأمر يسير بعدما عرفنا كيف تتم العملية ، في هذه الحالة سنبحث عن عنصر به ثلاثة إلكترونات في غلافه الخارجي (مثل عنصر البورون ، الألمنيوم ، الجاليوم...) ، في البداية وكما عرفنا سابقاً سنقوم بصهر بلورة الجرمانيوم ثم إضافة عنصر الشائبة الذي يحتوي على ثلاثة إلكترونات في غلافه الخارجي إلى الصهير ، ففي البلورة المستحصلة بعد التبريد سنجد أن كل ذرة شائبة ستعمل على إزاحة ذرة واحدة من ذرات الجرمانيوم ، ومرة أخرى فإننا سنجد أن أغلب الذرات في التركيب البلوري هي ذرات جرمانيوم ، ومن حين إلى آخر سنجد ذرة عنصر الشائبة ، الشكل (1-9) يرينا أن ذرة عنصر الشائبة في العادة محاطة بأربعة ذرات متجاورة ، وكما هو واضح فإن هناك سبعة إلكترونات فقط في الغلاف الخارجي (ثلاثة منها هي خاصة بذرة الشائبة ، والأربعة الباقية هي تابعة للذرات الأربعة المجاورة) . وكنتيجة لذلك فإنه سيكون هناك فجوة واحدة في الغلاف الخارجي لذرة عنصر الشائبة ، وبالتحكم في كمية عنصر الشائبة يمكننا التحكم في كمية الفجوات بداخل البلورة .



الشكل (1-9) النوع الموجب P-type لشبه الموصل

شبه الموصل الذي طعّم بثلاثة إلكترونات في غلافه الخارجي والذي نتج عنه ظهور فجوة جديدة يدعى بالنوع الموجب لشبه الموصل P-Type ، حيث أن الحرف P هو الحرف الأول من كلمة موجب Positive . وما سمي هذا النوع بالنوع الموجب إلا لغالبية عدد الفجوات على عدد الإلكترونات الحرة في البلورة . وهنا يمكننا أن نعتبر أن الفجوات هي الحاملات الأغلبية Majority Carriers ، بينما الإلكترونات الحرة هي الحاملات الأقلية Minority Carriers .



الشكل (1-10) الحاملات الأغلبية والحاملات الأقلية

الشكل (1-10) يلخص هذان النوعان من أشباه الموصلات . وأخيراً يمكننا القول أن التطعيم Doping يمكّننا من الحصول على مستويات صالحة لمرور التيار في شبه الموصل .

الملخص

إن أكثر المواد المستخدمة لصناعة أشباه الموصلات هي مادتي الجرمانيوم والسليكون ، ذرات هذه المواد تحتوي على أربعة إلكترونات في غلافها الخارجي، وهذا يعني أنها في هذه الحالة (ما لم ترتبط) ستتصرف وكأنها مواد عازلة . أما بالنسبة للتركيب البلوري المبني على هذه المواد فهو عبارة عن ارتباط عدد كبير من ذرات الجرمانيوم أو ذرات السليكون لتشكل في النهاية نموذج المادة الصلبة، كل ذرة في هذه البلورة لها أربع ذرات

مجاورة تشارك كل واحدة منها بإلكترون واحد وذلك للحصول على ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي .
في درجة الصفر المطلق فإن بلورة الجرمانيوم (أو السليكون) النقي تتصرف وكأنها مادة عازلة Insulator ، لأنه لا توجد إلكترونات حرة متاحة لمرور التيار . وستشد إلكترونات الغلاف الخارجي للذرات بإحكام في اتجاه الذرات ولن يستطيع أي إلكترون أن يفلت ، ولكي يستطيع هذا الإلكترون أن يفلت فيجب زيادة درجة الحرارة التي ستعمل على إزاحة بعض إلكترونات الغلاف الخارجي، وكنتيجة لذلك فإن الإلكترونات الحرة والفجوات ستنجرف تحت تأثير المجال الكهربائي مسببة في ذلك مرور التيار، كمية هذا التيار من ناحية عملية صغير جداً .
وعموماً يمكننا القول أن السليكون النقي يملك عدداً من الإلكترونات الحرة والفجوات أقل من وجودها في الجرمانيوم النقي عند نفس درجة الحرارة .
هذه الفجوات عبارة عن فراغ في الغلاف الخارجي للذرة ، وظهور هذه الفجوات كان بسبب عدم وصول الإلكترونات إلى ثمانية في الغلاف الخارجي . ستعمل هذه الفجوات على جذب أي إلكترون قريب منها . إن اجتذاب الإلكترون إلى داخل الفجوة يطلق عليه بإعادة الارتباط Recombination ، ففي حالة ما إذا ما تم الارتباط فإن الفجوة ستختفي، أو بمعنى آخر ، عند انتقال الإلكترون إلى الفجوة الجديدة فعندها سيكون رابطة إلكترونية ، والفجوة ستختفي في الموضع الأول وستظهر في الموضع الجديد .
إن شبه الموصل النقي الذي تضاف إليه الشوائب يدعى بشبه الموصل الفعلي Intrinsic Semiconductor ، وعملية إضافة الشوائب تدعى " بالتطعيم " Doping ، وأيضاً تسمى عملية تطعيم شبه الموصل بالشوائب بـ Extrinsic Semiconductor . وأخيراً فإن شبه الموصل من النوع N-type يمتلك عدداً أكبر من الإلكترونات منه في شبه الموصل من النوع P-type حيث في هذا النوع يكون عدد الفجوات أكثر من عدد الإلكترونات .

تعريفات لبعض المصطلحات المهمة

- **البلورة Crystal**: هي عبارة عن التركيب الداخلي لشريحة صلبة من الجرمانيوم أو السليكون، في هذا التركيب كل ذرة لها أربع ذرات مجاورة تتشارك في إلكترونات الغلاف الخارجي .
- **التطعيم Doping**: هو عبارة عن إضافة ذرات عنصر الشائبة إلى الجرمانيوم أو السليكون النقيين وذلك لزيادة عدد الفجوات أو عدد الإلكترونات الحرة .
- **شبه الموصل العرضي Extrinsic Semiconductor**: هو شبه الموصل الذي تم تطعيمه بالشوائب .
- **شبه الموصل الفعلي Intrinsic Semiconductor**: هو شبه موصل من الجرمانيوم أو السليكون النقيين ، ولكن الشيء الذي يميزه هو أن حاملات التيار (الإلكترونات الحرة والفجوات) تُنتج فقط بفعل الطاقة الحرارية.

- **الفجوة Hole**: هو عبارة عن مكان شاغر في الغلاف الخارجي للذرة ، هذه الفجوة تظهر بفعل الطاقة الحرارية أو بفعل التطعيم Doping .
- **معدل الحياة Lifetime**: هو متوسط كمية الوقت الذي تكون فيه الإلكترونات الحرة والفجوات المتوالدة مازالت متواجدة قبل عملية إعادة الارتباط Recombination .
- **النوع السالب لشبه الموصل N-type**:هو شبه الموصل الذي أدت عملية تطعيمه بالشوائب إلى إنتاج زيادة في عدد الإلكترونات الحرة أكثر من عدد الفجوات .
- **النوع الموجب لشبه الموصل P-type**: هو شبه الموصل الذي أدت عملية تطعيمه بالشوائب إلى إنتاج زيادة في عدد الفجوات أكثر من عدد الإلكترونات الحرة .
- **إعادة الارتباط Recombination**: هو عبارة عن اندماج بين الإلكترون الحر والفجوة .
- **شبه الموصل Semiconductor**: هو عبارة عن مادة مثل الجرمانيوم أو السليكون والتي من خواصها الكهربائية أنها وسط بين العزل والتوصيل للتيار.

أسئلة للمراجعة :

1- ما هو لب السليكون ، وماذا يحوي ؟
2- كم عدد الإلكترونات الموجودة في الغلاف الخارجي لذرات الجرمانيوم العازل تحت الشروط العادية .
3- ما هي البلورة ؟
4- في بلورة الجرمانيوم أو السليكون كم عدد الإلكترونات الحرة في الأغلفة الخارجية ؟
5- لماذا يتصرف شبه الموصل النقي في درجة حرارة الصفر المطلق وكأنه عازل ؟
6- لماذا نحن نستخدم دائماً كلمة شبه موصل Semiconductor عند وصفنا للبلورة أو للسليكون (أو الجرمانيوم) النقي ؟
7- في نفس درجة الحرارة حدد أي بلورة هي الأكفأ في التوصيل من الأخرى ، بلورة الجرمانيوم النقي أو بلورة السليكون النقي، مع ذكر سبب ذلك ؟
8- ما هي الفجوة Hole ، مع تحدد طريقتين لإنتاجها ؟
9- ما هو المصطلح الذي يصف دمج الفجوة مع الإلكترون الحر، مع ذكر اسمه باللاتينية ؟
10- عرف كلاً من : شبه الموصل الفعلي Intrinsic semiconductor ، شبه الموصل العرضي Extrinsic semiconductor ؟
11- لإنتاج النوع السالب لشبه الموصل N-type فإننا نضيف عنصر المادة الشائبة . المطلوب هو تحديد عدد الإلكترونات في الغلاف الخارجي للحصول على هذا النوع من شبه الموصل ؟
12- ما هي الحاملات الأغلبية في النوع الموجب شبه الموصل P-type ؟

مســــــــائل

1-1 إلكترون ذرة الهيدروجين الذي يتبع المدار الذي نصف قطره $0.53(10^{-10})$ ، الطاقة الحرارية أو أي صورة أخرى من صور الطاقة عملت على تحريك الإلكترون إلى المدار الأكبر الذي نصف قطره معطى بـ :

$$r_n = n^2 r_1$$

حيث : r_n هو نصف قطر المدار الذي رقمه n .

$n = 1,2,3,4 \ldots$

$r_1 =$ هو نصف قطر أول مدار $(0.53(10^{-10}))$.

احسب نصف قطر المدار الثاني والمدار الثالث ؟

2-1 عندما يسقط إلكترون من مدار أكبر إلى مدار أصغر فإنه سيبعث حرارة وضوء، كمية الطاقة المُشَعّة تساوي الفرق بين الطاقة الابتدائية والنهائية للإلكترون . فإذا كانت الطاقة الابتدائية للإلكترون مقدارها $20(10^{-19})$ جول ، والطاقة النهائية للإلكترون مقدارها $5(10^{-19})$ جول ، فما هو مقدار الطاقة المُشَعّة ؟