

أشباه الموصلات ذات الشوائب Impurity Semiconductors

من الملاحظ من التجارب العملية (أن توصيلية أشباه الموصلات الذاتية (النقية) صغيرة جداً حيث أنها تقل عن توصيلية معدن مثل النحاس بحوالي 10^{13} مرة بالنسبة للسليكون ، 10^{11} مرة بالنسبة للجرمانيوم . ويمكن زيادة التوصيلية الكهربائية لشبه الموصل النقي مثل السليكون أو الجرمانيوم وذلك بإضافة شوائب من مواد خماسية التكافؤ مثل الفسفور P أو الأنتيمون Sb أو الزرنيخ As أو بإضافة شوائب من مواد ثلاثية التكافؤ مثل البورون B ، أو الألومنيوم Al أو الأنديموم In . ويسمى شبه الموصل في هذه الحالة بشبه الموصل ذي الشوائب أو شبه الموصل اللاذاتي impure (or extrinsic) semiconductor . وتكون نسبة الشوائب المضافة إلى السليكون أو الجرمانيوم النقي نسبة صغيرة جداً وتصل إلى حوالي ذرة لكل مليون ذرة سليكون أو جرمانيوم . وتعتمد هذه النسبة على التوصيلية المطلوبة لشبه الموصل . ويتم إضافة الشوائب إلى السليكون أو الجرمانيوم النقي بطرق مختلفة . فقد يتم إضافتها أثناء صهر المادة النقية وإتمام البلورة وقد يتم إضافتها بعد إتمام البلورة النقية بطرق متعددة ويجب أن تكون ذرات المادة المضافة موزعة توزيعاً متجانساً في النسق البلوري بين ذرات الجرمانيوم أو السليكون .

ذكرنا فيما سبق ان عدد الالكترونات الواصلة الى حزمة التوصيل وكذلك الفجوات المتخلفة في حزمة التكافؤ في المواد شبه الموصلة ، يكون صغيرا جدا في درجات الحرارة الاعتيادية بحيث ان التيار الناتج عنها لا يصلح لكثير من التطبيقات العملية . كذلك وجدنا ان رفع درجة حرارة اشباه الموصلات ، يؤدي الى زيادة الموصلية لهذه المواد اي زيادة عدد الالكترونات المنتقلة الى حزمة التوصيل وبالتالي زيادة التيار الناتج وان رفع درجة حرارتها لا يعد مرغوبا فيه من الناحية العملية وذلك لما تتطلبه هذه الطريقة من اجهزة تسخين وما يلزم ذلك من زيادة في التكاليف وكذلك زيادة في استهلاك القدرة والاهم من ذلك صعوبة التحكم او السيطرة على الخواص الكهربائية لاشباه الموصلات من خلال هذه الطريقة .

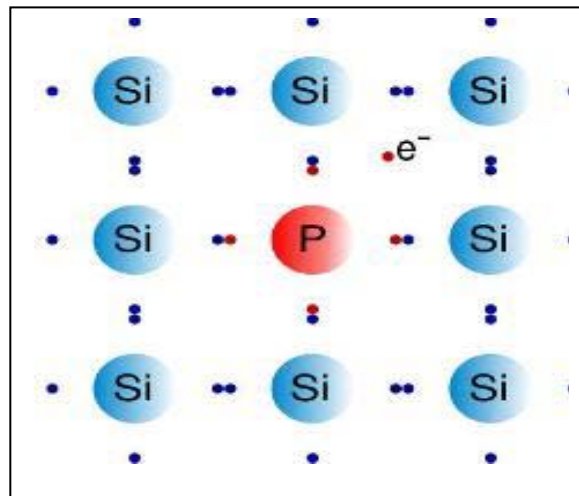
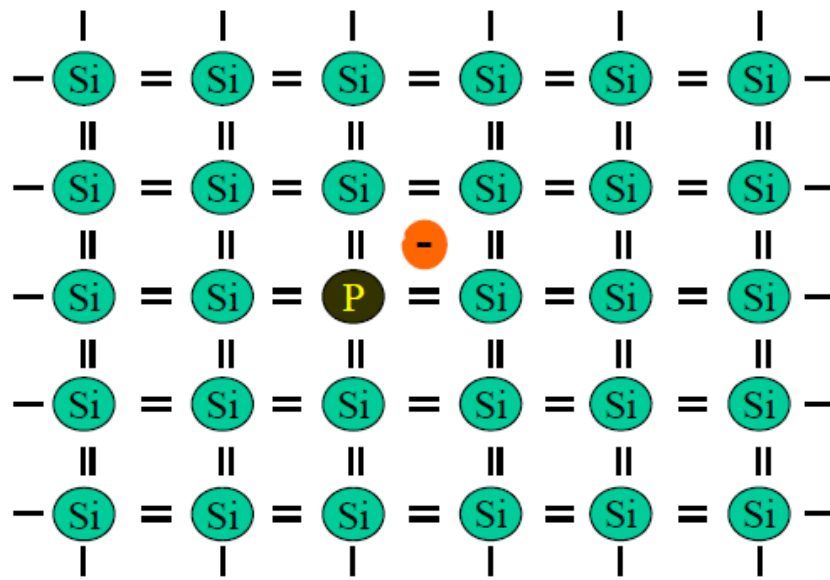
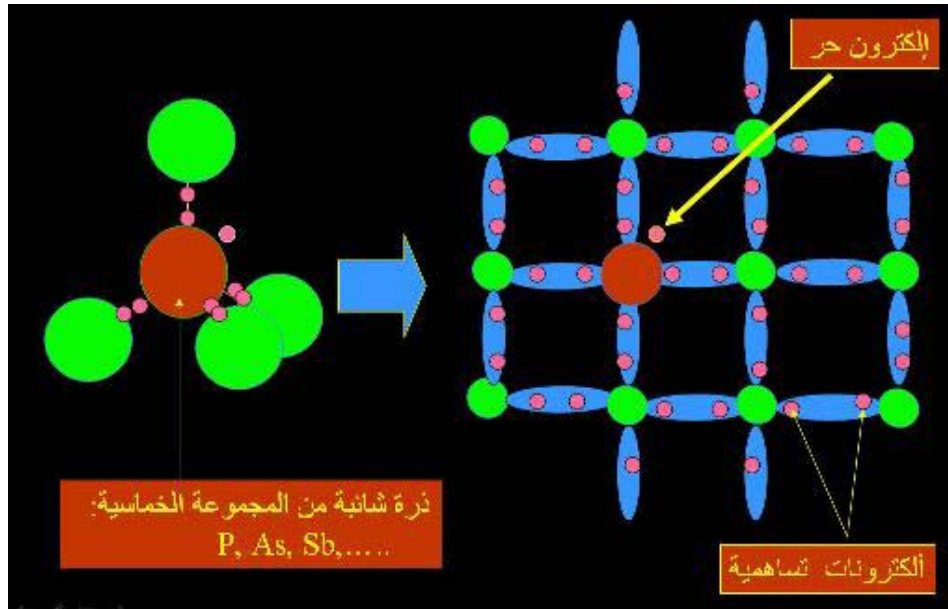
على اية حال ، يتم في الوقت الراهن السيطرة على الصفات الكهربائية لشبه الموصل عن طريق اضافة نسب قليل ومحدود من مواد شائبة impurities الى بلورة شبه الموصل وتدعى هذه العملية بالتطعيم doping وتعرف كمية الشوائب المضافة بمنسوب التطعيم doping level

ان اضافة ذرات شائبة الى اشباه الموصلات النقية ، بنسب قليلة تعمل على زيادة الموصلية لهذه المواد فمثلا اذا اضيفت الشوائب بنسبة ذرة واحدة من الشوائب الى 10^8 ذرة جرمانيوم فان ذلك يكفي لزيادة الموصلية بمقدار من 10 الى 15 مرة . كذلك فان اضافة الذرات الشائبة الى اشباه الموصلات النقية تعطينا امكانية التحكم في كثافة الالكترونات الحرة الموجودة في شبه الموصل او كثافة الفجوات فيه وبصورة مستقلة وتضاف الشوائب عادة بنسبة ذرة عنصر شائب واحد الى مليون ذرة سيلكون او جرمانيوم

يوجد نوعان من الشوائب تلك التي تعمل على زيادة الموصلية بزيادة عدد الالكترونات وتكون من عناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري (خماسية التكافؤ) وتلك التي تزيد الموصلية بزيادة عدد الثقوب وتكون من ضمن عناصر المجموعة الثالثة (ثلاثية التكافؤ) ولهذا فان شبه الموصل المطعم يصنف الى نوعين رئيسيين وذلك حسب نوع الشوائب المضافة اليه .

شبه موصل من النوع السالب n-type

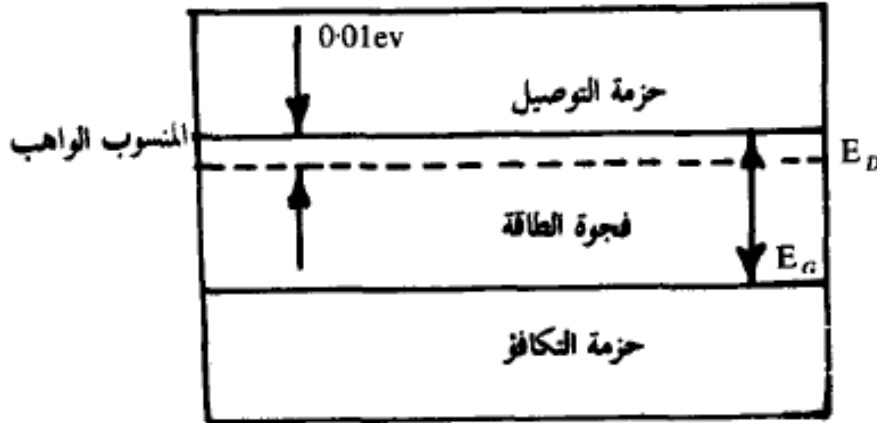
هي عبارة عن بلورة جرمانيوم أو سيلكون أضيف إليها (شوائب) عنصر من عناصر المجموعة الخامسة التي تحتوي على خمس الكترونات في مستوى طاقتها الأخير أي أنها خماسية التكافؤ والتالي ترتبط مع أربع ذرات جرمانيوم (أو سيلكون) ويتبقى إلكترون حرا ويصبح المسئول عن انتقال التيار الكهربائي في هذه البلورة هي الالكترونات



وعند إضافة المادة خماسية التكافؤ إلى الجرمانيوم أو السليكون النقي يكتسب شبه الموصل توصيلية إضافية تعرف بتوصيلية الشوائب أو التوصيلية الإلكترونية . ذلك لأن ذرة الشائب الخماسية تترايط مع أربعة ذرات مجاورة من ذرات السليكون أو الجرمانيوم بأربعة من إلكتروناتها (أنظر شكل أعلاه) حيث أن النسق البللوري لا يحتاج إلا لأربعة روابط فقط . أما الإلكترون الخامس فيصبح إرتباطه بذرة الشائب ضعيف جداً وسرعان ما يصبح حراً . وبذلك تظهر كمية إضافية من الإلكترونات الحرة يكون عددها مساوٍ لعدد ذرات المادة خماسية التكافؤ في البلورة ويسمى هذا النوع من الشوائب الخماسية بالنوع الواهب donor impurity حيث تهب ذرة الشائب الكتروناً من إلكتروناتها الخمسة ليشترك في التوصيلية الكهربائية وتبقى ذرة الواهب موجبة الشحنة ولكنه لا ينتج عن ذلك ثقب في النسق البللوري كما أن ذرة الواهب الموجبة لا تشترك إطلاقاً في التوصيلية الكهربائية حيث أنها مرتبطة في النسق البللوري بأربعة روابط مع أربع ذرات مجاورة من ذرات السليكون أو الجرمانيوم . وتعرف المواد الخماسية التكافؤ (عناصر العمود الخامس من الجدول الدوري) بالشوائب من النوع الإلكتروني n-type impurities . ويعرف شبه الموصل ذي الشوائب الخماسية بإسم شبه توصيل الكتروني n-type semiconductor .

ان هذا الإلكترون الخامس يكون شبه سائب وتكفي طاقة صغيرة لاتتعدى عن 0.04 إلكترون فولت للجرمانيوم و 0.01 إلكترون فولت للسليكون لنقله الى حزمة التوصيل . وبهذا فان وجود الذرات الشائبة يزيد من عدد الإلكترونات الطليقة فسي حزمة التوصيل مع قليل من الطاقة ليس غير وقد يتضاعف هذا العدد ، من الإلكترونات الطليقة الى الف مرة عما هو عليه في حالة السيلكون النقي .

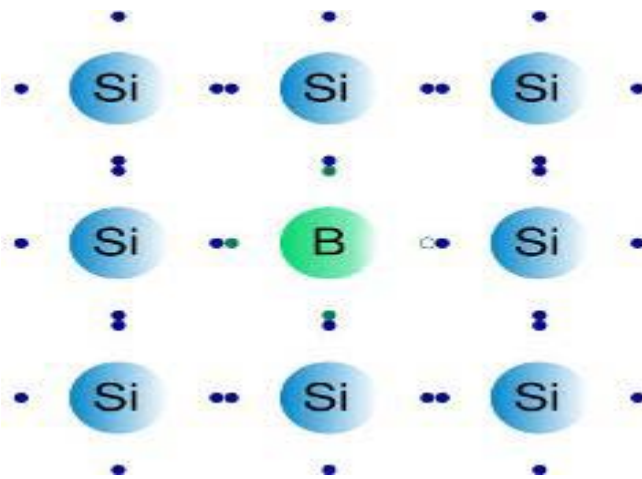
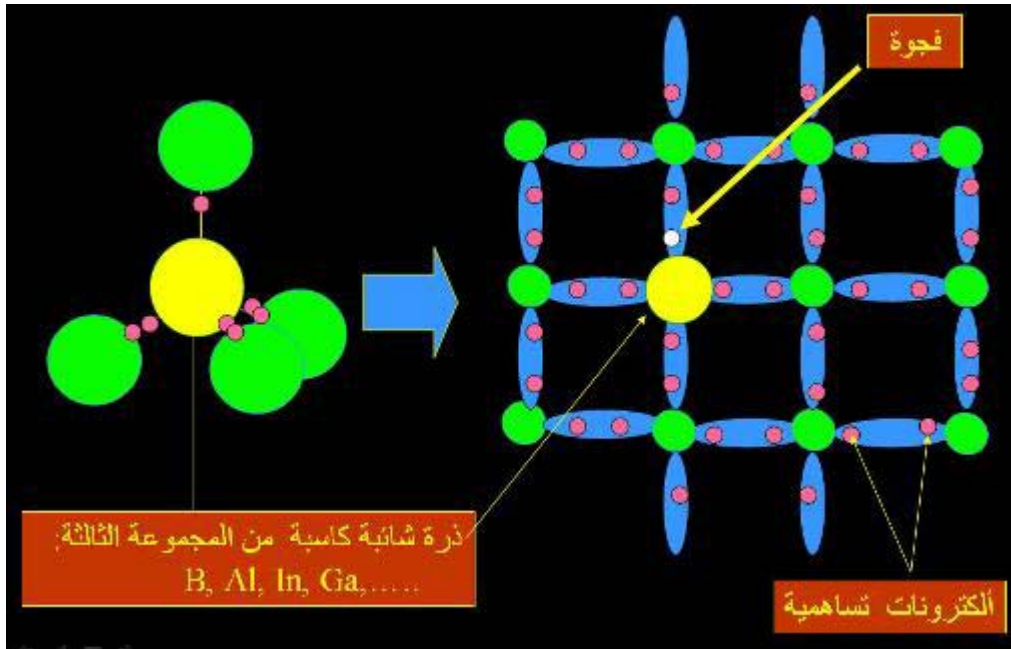
ومن الجدير بالذكر ان ظهور الإلكترونات الفائضة في حزمة التوصيل نتيجة لوجود الشوائب لا يقابله ظهور الثقوب في حزمة التكافؤ. فهذه الإلكترونات لا تنتقل من حزمة التكافؤ كما يحدث ذلك في المادة النقية بل انها تنتقل من مستويات طاقة واقعة تحت حافة حزمة التوصيل (ضمن فجوة الطاقة) وعلى عمق قليل جدا من الطاقة (0.01 eV او 0.04eV) انظر الشكل أدناه . ويسمى هذا المستوى الجديد للطاقة بالمستوى الواهب donor level وهو يمثل مستوى الطاقة للذرات الشائبة ولهذا تسمى الذرات الداخلة بالذرات الواهبة donors . وعليه فان غالبية التيار يكون نتيجة شحنات الإلكترونات (السالبة) ومن هنا جاءت تسمية هذا النوع من البلورات بالسالبة N - type . اما كثافة الثقوب فتحددها الإلكترونات التي تترك حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل ويكون تأثيرها على التوصيل مهملا ولهذا فانها تدعى بالحاملات الاقلية minority carriers



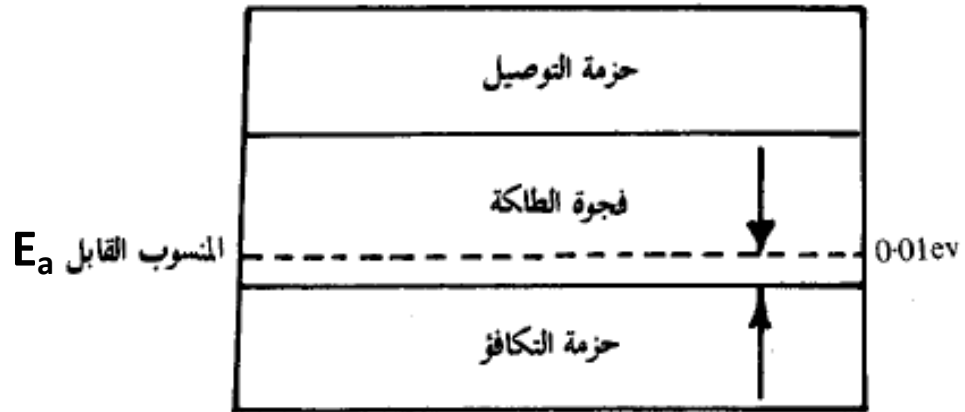
مخطط حزم الطاقة لشبه موصل سالب n-type

شبه موصل نوع موجب p-type

اضفنا بعض ذرات مادة شائبة ثلاثية التكافؤ كالسيوم او الالمنيوم او البورون الى بلورة السيلكون فان ظاهرة مختلفة سوف تحدث. تحوي ذرات الكالسيوم على ثلاثة الكترونات في مدارها الخارجي متوزعة على هيئة $4s^2 4p$ لذلك فان وجود هذه الذرات في بلورة السيلكون $3s^2 3p^2$ يولد مكانات شاغرة في تركيبها الالكتروني تدعى بالفجوات holes - لاحظ الشكل أدناه - ويحتاج الالكترون الى طاقة قليلة جدا لكي يدخل في فجوة معينة ولكنه بهذه العملية يترك خلفه فجوة جديدة. فعند تسليط مجال كهربائي على بلورة السيلكون الشائبة هذه فان حركة الفجوات ستنتظم فيها وتنساق نحو القطب السالب مولدة بذلك تيارا يدعى بتيار الفجوات current hole P - type semiconductor هذا النوع من المادة يدعى بشبه الموصل من النوع الموجب P - type semiconductor وتسمى الذرات الشائبة الداخلة بالذرات المتقبلة acceptors لتقبلها الالكترونات من ذرات البلورة الاصلية .



وكما هو الحال في الشوائب المانحة فان الشوائب القابلة تكون مستويات طاقة جديدة ضمن فجوة الطاقة وعلى مسافة قريبة جدا من حزمة التكافؤ يطلق عليها بالمنسوب القابل acceptor level - انظر الشكل التالي - تبلغ قيمته حوالي 0.01 ev بالنسبة للجermanيوم و 0.16 ev بالنسبة للسيلكون . وان وجود هذا المنسوب يسهل من عملية انتقال الالكترونات من حزمة التكافؤ اليه وان انتقال الالكترون يودي الى تخلف فجوة في حزمة التكافؤ وهذه الفجوات تساعد على سريان التيار .



مخطط حزم الطاقة لشبه موصل نوع موجب p-type