

حساب تركيز حاملات الشحنة في أشباه الموصلات

إذا رمزنا إلى عدد إلكترونات التوصيل في المتر المكعب بالرمز n_i وعدد ثقب التوصيل بالرمز P_i فإننا نجد أن كلا من n_i ، P_i يعتمد أساساً على درجة الحرارة ونوع المادة . وباستخدام ميكانيكا الكم الإحصائية يمكن إيجاد العلاقة التي تحدد قيمة n_i وهذه العلاقة هي :

$$n_i = 2 \frac{(2\pi mkT)^{3/2}}{h^3} \exp\left(\frac{-W_i}{2KT}\right)$$
$$= 5 \times 10^{21} T^{3/2} \exp\left(\frac{-W_i}{2kT}\right)$$

حيث T درجة الحرارة المطلقة ، W_i هي طاقة التأيين للمادة . K ثابت بلتسمان ، h ثابت بلانك ، m كتلة الإلكترون .

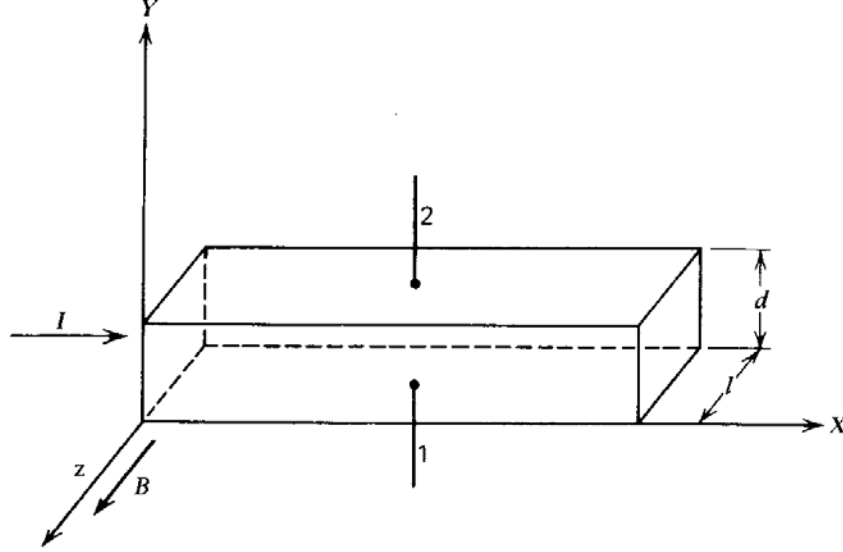
$$n_i = P_i \quad (\text{في حالة شبه الموصلات النقية})$$

وباستخدام العلاقة أعلاه يمكن حساب عدد الإلكترونات والثقب الحرة لكل من السليكون ($W_i=0.75 \text{ eV}$) والجرمانيوم ($W_i=1.10 \text{ eV}$) عند درجة حرارة الغرفة (25°C) حيث نجد أن عدد الإلكترونات الحرة لكل متر مكعب هي $n_i = P_i \approx 1.5 \times 10^{16}$ بالنسبة للسليكون ، $n_i = P_i \approx 1.3 \times 10^{19}$ بالنسبة للجرمانيوم . وكذلك يمكن حساب عدد الإلكترونات الحرة في مادة موصلة كالنحاس مثلاً وذلك باستخدام عدد أفوجادرو والوزن الجزيئي والكثافة حيث نجده مساوياً 7.8×10^{28} (بواقع إلكترون حر لكل ذرة نحاس) . وبذلك نجد أن عدد حاملات الشحنة في أشباه الموصلات تكون أقل بمليارات المرات عما هي في الموصلات .

أما حساب تركيز الحاملات الاقلية او الاغلبية ((واجب على الطلاب))

The Hall Effect

يمكن تحديد نوع شبه الموصل (وكذلك المعادن) باستخدام أثر هول . ويتلخص هذا الأثر في أنه عند مرور تيار كهربائي شدته I في قطعة من شبه الموصل موضوعة في مجال مغناطيسي عرضي كثافة فيضه B يتولد مجال كهربائي \mathcal{E} في اتجاه عمودي على كل من I ، B فإذا كان التيار I في الإتجاه الموجب للمحور X (لاحظ الشكل ادناه) وكان B في الإتجاه الموجب للمحور Z فإنه تتولد قوة مؤثرة على حاملات الشحنة في الإتجاه السالب



للمحور Y . فإذا كان شبه الموصل من النوع الإلكتروني (أي أن الإلكترونات هي التي تحمل التيار) تقع الإلكترونات تحت تأثير قوة إلى أسفل (في إتجاه الوجه السفلي) وبذلك يصبح الوجه السفلي مشحون بشحنة سالبة بالنسبة للوجه العلوي . ويتكون بالتالي فرق جهد V_H يعرف بإسم جهد هول Hall Voltage بين الوجهين 1 ، 2 . وبالتالي ينتج مجال كهربائي شدته $V_H/d = \mathcal{E}$ حيث d هي المسافة بين الوجهين . وعند حدوث الإتزان يؤثر هذا المجال الكهربائي المستحدث على حاملات الشحنة بقوة تعادل القوة المغناطيسية أي أن :

$$e\mathcal{E} = Bev \quad 1$$

حيث v السرعة الإنسيابية المتوسطة لحاملات الشحنة . وحيث أن كثافة التيار .

$$J = \rho v = \frac{I}{ld} \quad 2$$

حيث ρ هي كثافة الشحنة الفراغية . l هو عرض القطعة شبه الموصلة في إتجاه المجال المغناطيسي فإنه يمكن تحديد الجهد V_H باستخدام العلاقتين (1) و (2) كالآتي :

$$V_H = \epsilon d = Bvd = \frac{BdJ}{\ell} = \frac{BI}{\rho l} \quad 3$$

وبقياس كل من V_H . B . lI فإنه يمكن تحديد كثافة الشحنة \mathcal{S} باستخدام هذه العلاقة الأخيرة . فإذا كان الوجه العلوي ٢ موجب تكون حاملات الشحنة هي الإلكترونات وبما أن $\ell = ne$ حيث n هي كثافة

الإلكترونات فإنه بالتالي يمكن تحديد كثافة الشحنة السالبة في شبه الموصل . وإذا كان الوجه السفلي (١) هو الموجب فهذا يعني أن شبه الموصل من النوع الثقبوي ويمكن تحديد كثافة الثقوب من العلاقة $\mathcal{S} = pe$ حيث P هي كثافة الثقوب .

وتعرف القيمة $R_H \equiv 1/\rho$ بإسم معامل هول .

ويمكن تحديد هذا المعامل من العلاقة (3) حيث

$$R_H = \frac{V_H l}{BI} \quad 4$$

فإذا وضعنا في الإعتبار أن التوصيلية ناتجة عن نوع واحد من حاملات الشحنة (الإلكترونات أو الثقوب) نجد أن توصيلية شبه الموصل هي $\sigma = ne\mu = \rho\mu$. فإذا تم قياس توصيلية شبه الموصل فإنه يمكن تحديد قيمة الحركية μ باستخدام العلاقة .

$$\mu = \sigma R_H \quad 5$$

وتعتبر هذه العلاقة مقربة حيث أننا إعتبرنا أن حاملات الشحنة تتحرك بسرعة إنسيابية متوسطة v . وحيث أن السرعة الإنسيابية تتميز بتوزيع حراري عشوائي فإنه يجب أخذ هذا التوزيع في الإعتبار . وفي هذه الحالة تبقى العلاقة (4) صحيحة بحيث يكون تعريف R_H هو

$$R_H = \frac{3\pi}{8\rho} \quad 6$$

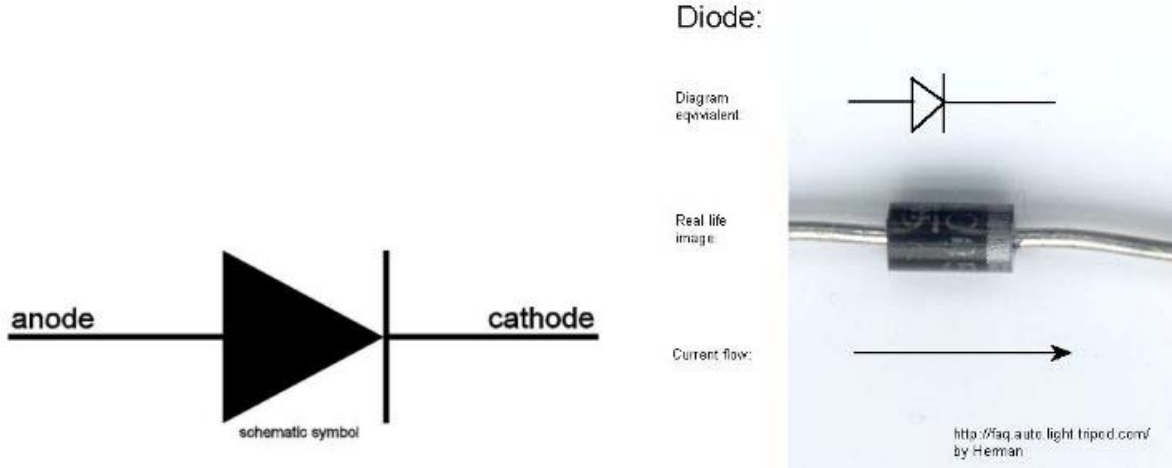
وعندئذ تتخذ العلاقة (5) الشكل الآتي

$$\mu = (8\sigma/3\pi)R_H$$

The $p-n$ Junction diode

ثنائي الوصلة (الملتقى) $p-n$

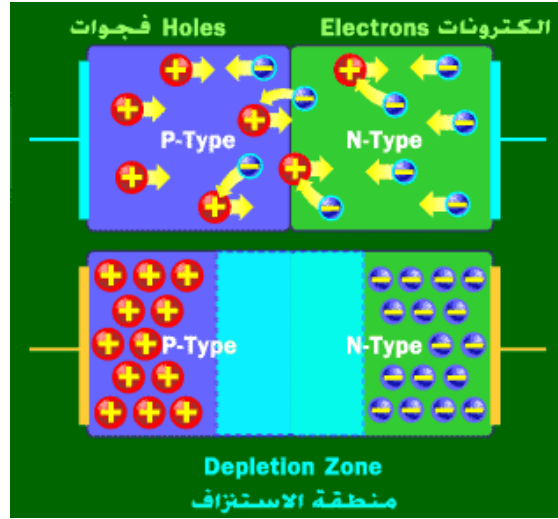
ثنائي الوصلة (أو ثنائي الملتقى) $p-n$ هو عبارة عن بلورة أحادية Single Crystal من السليكون أو الجرمانيوم غرست في جزء منها شوائب متقبلة وفي الجزء الآخر شوائب واهبة ويتم غرس الشوائب بطرق مختلفة وذلك أثناء إعداد البلورة الأحادية أو بعد إعدادها. ولا يمكن الحصول على ثنائي الوصلة بمجرد وضع قطعة من مادة ثقيلة ملاصقة تماماً لقطعة من مادة إلكترونية حيث أن عدم الإستمرارية في البناء البلوري يؤدي إلى ضياع كل الصفات المطلوبة في الثنائي.



تنتقل مباشرة (انتقال تلقائي) بعض الإلكترونات الحرة من البلورة السالبة وتملاً بعض فجوات البلورة الموجبة (أي أن الإلكترونات تنتقل من الجانب الفاض إلكترونيا إلى الجانب الناقص إلكترونيا...وتستمر هذه العملية حتى يحدث توازن كهربائي) وبالتالي يتكون على جانبي الوصلة منطقتان مختلفتان في الجهد وخاليتان من حاملات الشحنة السائدة فتعمل كعازل و عندما يصل فرق الجهد بين المنطقتين إلى قيمة معينة يقف عبور الإلكترونات من البلورة السالبة إلى البلورة الموجبة ولذلك يسمى الجهد الحاجز. **الجهد الحاجز:** هو فرق الجهد بين طرفي الوصلة الثنائية والذي يتوقف عنده عبور مزيد من الإلكترونات الحرة من البلورة السالبة إلى البلورة الموجبة.

منطقة الاستنزاف او الشحنة الفراغية Depletion Region or Space charge

تسمى المنطقة المحيطة بالحد بين المادتين p ، n بمنطقة الملتقى الثقبي الإلكتروني وحيث أنه يوجد إختلاف في نوعية حاملات الشحنة وفي كثافتها على جانبي الملتقى تنتشر الحاملات من الوسط الأكثر تركيزاً إلى الوسط الأقل تركيزاً . وبذلك تنتشر الثقوب إلى اليمين عبر الملتقى كما تنتشر الإلكترونات إلى اليسار . لذا نجد ان الثقوب القريبة من الملتقى في المادة الثقبية قد إختفت نتيجة لإنتشارها إلى اليمين وإتحادها مع الإلكترونات التي إنتشرت هي الأخرى من المادة الإلكترونية إلى اليسار . بذلك نجد أن المنطقة القريبة من الملتقى أصبحت لا تحتوي على حاملات حرة كما أن شحنتها أصبحت غير متعادلة فعلى الجانب الأيمن توجد شحنات موجبة لأيونات الذرات الواهبة دون الإلكترونات التي إنتشرت لليساار . وكذلك على الجانب الأيسر توجد شحنات سالبة لأيونات الذرات المتقبلة دون الثقوب التي إنتشرت لليمين .



وهكذا تتكون في منطقة الملتقى $p-n$ شحنة فراغية على الجانبين . وتعتمد كثافة الشحنة الفراغية على كل من نسبة تركيز الشوائب على الجانبين وعلى طريقة تجهيز البلورة. وتسمى المنطقة التي تكونت فيها الشحنة الفراغية حول الملتقى بمنطقة الشحنة الفراغية أو منطقة الإنتقال أو المنطقة الخالية من حاملات الشحنة الفراغية سواء في منطقة الملتقى أو بعيداً عنها . ويكون تركيز حاملات الشحنة خارج منطقة الشحنة الفراغية هو التركيز العادي (في المنطقة الثقبية يكون $p=N_A$ وفي المنطقة الإلكترونية يكون التركيز $n=N_D$. ويعتمد سمك منطقة الشحنة الفراغية أساساً على نسبة تركيز الشوائب وتكون قيمته في حدود طول موجة الضوء المرئي أي في حدود 0.5 ميكرومتر .