University of Anbar
College of Science
Department of Physics

فيزياء الحالة الصلبة

Solid State Physics

المرحلة الرابعة
الكورس الثاني
صلبة2

الدكتور قيس عبدالله عباس

Lecture7

1. Conductivity of semicoductors التوصيلية

التوصيلية للمادة شبه الموصلة يمكن قياسها من المعادلة التالية:

$$\sigma = n_i e\mu = n_i e(\mu_h + \mu_e)$$

حيث ان μ تمثل التحركية لكل من الالكترونات والفجوات وان μ_h التحركية للفجوات وان μ_e تمثل التحركية للالكترونات

Intrinsic material has limited application carefully chosen impurity alter electrical properties since conductivity in intrinsic

المواد الاساسية لها تطبيق محدود والشوائب يتم اختيارها بعناية حيث تغير من الخواص الكهربائية اعتمادا على الموصلية .

Conductivity depends on temperature

تعتمد التوصيلية على درجة الحرارة

$$\sigma = f(T)e^{-E_g/2k_BT}$$

Where, $f(T)$ is a function which depends only on the temperature.

حيث ان $f(T)$ تمثل دالة تعتمد فقط على درجة الحرارة

1.1 Extrinsic Semiconductors

شبه موصل غير جوهري(شبه موصل مشوب او مطعم)

An addition of impurities to a semiconductor is called doping. Certain type of impurities and imperfection affect the electric properties of a semiconductor. Addition of 1B atom to 10^5 Si atoms increases the conductivity of pure Si by a factor of 10^3 at room temperature.

تسمى إضافة شوائب , لأشباه الموصلات بالتطعيم او التشويب ويسمى بشبه الموصل المشوب او المطعم. يؤثر نوع معين من الشوائب على الخصائص الكهربائية لأشباه الموصلات. حيث ان إضافة ذرة (boron) بورون إلى مادة السليكونSi والتي تحتوي على 10^5 ذرة Si حيث تزيد من توصيل السليكون Si النقي بعامل 10^3 عند درجة حرارة الغرفة.

1.2 Doped semiconductor شبه الموصل المطعم

The doped semiconductor is a semiconductor with adding doping elements which have ability to change the electrical properties of semiconductor.

أشباه الموصلات المطعمة او المشوبة هي أشباه الموصلات مع إضافة عناصر تشويب والتي لديها القدرة على تغيير الخواص الكهربائية لأشباه الموصلات.

The modern way to produce materials for electronics is to “dope” semiconductor material with impurity atoms which introduce carriers in a controllable way.

إن الطريقة الحديثة لإنتاج مواد تستخدم للتطبيقات الالكترونية هي "تقوية" أشباه الموصلات مع ذرات شائبة التي تدخل الناقلات الشحنة بطريقة يمكن التحكم فيها.

7.3 Types of dopin انواع التطعيم

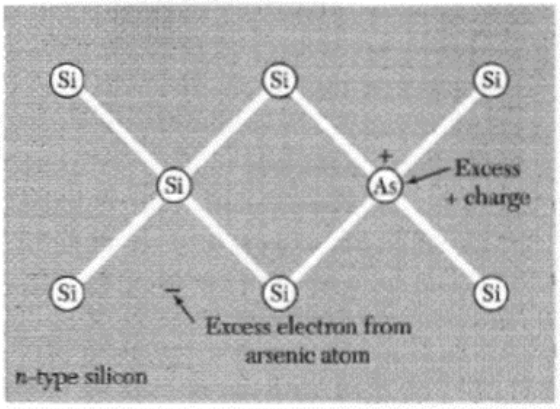
Donor doping state: حالة التشويب المانح

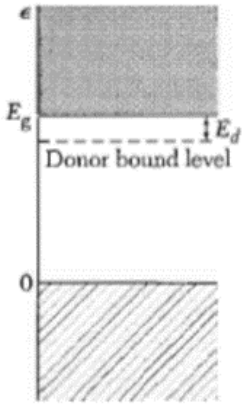
The impurity level is usually situated in the forbidden gap. If the impurity level is situated near the bottom of conduction band the atom are ionized at low enough temperatures and provide extra electrons to the band (such impurities are called donors).

1- حالة التشويب المانح:

يقع عادة مستوى طاقة التشويب في الفجوة المحرمة او ماتسمى بفجوة الطاقة. حيث إذا كان مستوى طاقة التشويب يقع بالقرب من الجزء السفلي من نطاق التوصيل ، فإن الذرة تتأين عند درجات حرارة منخفضة بما فيه الكفاية وتوفر إلكترونات إضافية لنطاق التوصيل (تسمى هذه الشوائب بالشوائب المانحة). ومثال على هذه المواد هي P, As, Sb ويمكن حساب مستوى الطاقة للتشويب بالمعادلة التالية

$$E_d = \frac{e^4 m_e}{2(4\pi\epsilon\epsilon_0\hbar)^2}$$





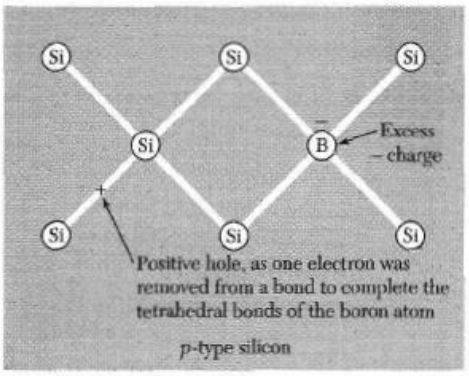
Arsenic has five valence electrons, but silicon has only four valence electrons. Thus, four electrons on the arsenic form tetrahedral covalent bonds similar to silicon, and the fifth electron is available for conduction.

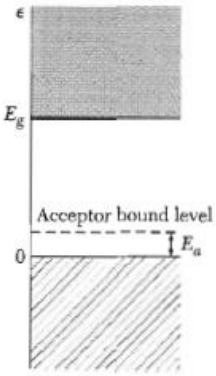
مثال على ذلك اضافة مادة الزرنيخ As الى السليكون Si: حيث يحتوي الزرنيخ على خمسة إلكترونات تكافؤ ، لكن السيليكون يحتوي على أربعة إلكترونات تكافؤ فقط. وهكذا ، فإن أربعة إلكترونات من الزرنيخ تشكل روابط تساهمية رباعي مع السليكون، والإلكترون الخامس يبقى متاح للتوصيل.

7.4 Acceptor doping state: حالة التشويب المستقبل

If the levels are near the top of the valence band, they take electrons from the band producing holes (they are called acceptors).

2- حالة التشويب المستقبل: إذا كان مستوى طاقة التشويب يقع بالقرب من أعلى نطاق التكافؤ ، فإنها تأخذ الإلكترونات من النطاق والذي ينتج ثقوب (يطلق على هذه الشوائب بالمستقبلات). ومثال على هذه المواد هي B, Al, Ga





Boron has only three valence electrons; it can complete its tetrahedral bonds only by taking an electron from a Si-Si bond, leaving behind a hole in the silicon valence band. The positive hole is then available for conduction.

ومثال على ذلك اضافة عنصر البورون B الى السليكون Si : حيث ان البورون لديه ثلاثة إلكترونات تكافؤ فقط. يمكن أن تكمل روابطها رباعية السطوح فقط عن طريق أخذ إلكترون من رابطة Si-Si ، تاركًا وراءها ثقبًا في شريط التكافؤ من السيليكون. ثم يتم توفير الثقب الموجب للتوصيل.

Conditions of doping process:هناك شروط لعملية التشويب

- impurity atom should fit in crystal without crystal distortion.
  - يجب أن تتناسب ذرة التشويب مع البلورة بدون تشويه البلورة.
- Doped atom produces electronic state E_d or E_a.
  - ذرة التطعيم او التشويب تنتج حالة الكترونية E_d or E_a

Types of Impurities 7.5:**انواع التشويب**

7. **Impurity n- type (donor atoms)**

❖ **التشويب نوع n (الذرات المانحة)**

Donor atom has one electron extra.

ان الذرة المانحة تمتلك الكترون اضافي حيث ان باضافة هذه المواد الى المادة شبه الموصلة يزداد عدد الالكترونات ويمكن حساب كثافة الالكترونات بعد التشويب كما يلي:

$$n_n = \frac{1}{\sqrt{2}}\{N_D N_C\}^{1/2} e^{-\frac{E_d}{2kT}} \qquad \text{if} \quad N_D \succ\succ \frac{1}{2} N_C e^{-\frac{E_d}{kT}}$$

$$\text{Or} \quad n_n = N_D \qquad \text{if} \quad N_D \prec\prec \frac{1}{2} N_C e^{-\frac{E_d}{kT}}$$

Effects of the donor doping 7.6تاثيرات التشويب المانح

- impurity states spreading band width increase as impurity density increase i.e. gab between E_d, E_C decrease as impurity increase.

حالات الشوائب المنتشرة يزيد عرض النطاق مع زيادة كثافة الشوائب ، أي تقل الفجوة بين E_d و E_C مع زيادة الشوائب.

- Electrons density = donor atoms density. These electrons appear in conduction band and no corresponding hole in valance band.

كثافة الإلكترونات = كثافة الذرة المانحة. تظهر هذه الإلكترونات في نطاق التوصيل ولا توجد فجوة مقابلة في نطاق التكافؤ.

7.7 Impurity p- type (acceptor atoms)

❖ **الشوائب نوع p (الذرات المستقبلة)**

Acceptor atom needs one electron

الذرات المستقبلة تحتاج الى الكترون

$$P_P = \frac{1}{\sqrt{2}}\{N_V N_A\}^{1/2} e^{-\frac{E_A}{2kT}} \quad \text{if} \quad N_A \succ\succ \frac{1}{2} N_V e^{-\frac{E_A}{kT}}$$

$$\text{Or} \quad P_P = N_A \quad \text{if} \quad N_A \prec\prec \frac{1}{2} N_V e^{-\frac{E_A}{kT}}$$

7.8 Effects of accepted doping تاثيرات التشويب المستقبل

- Energy transfer small from valence band, i.e. hole generated in valance band.

نقل طاقة صغيرة من نطاق التكافؤ ، أي ان الثقب المتولد في نطاق التكافؤ.

- Hole density = accepter atom density.

كثافة الفجوة = كثافة الذرة المستقبلة

- Hole appears in valance band and no corresponding electron in conduction band.

تظهر الفجوة في نطاق التكافؤ ولا يوجد إلكترون مناظر في نطاق التوصيل.

References

1- Charles Kittel - Introduction to Solid State Physics-Wiley (2005)

2- J. S. Blakemore - Solid State Physics-Cambridge University Press (1985)

3- M. A. OMAR Elementary-solid-state-physics