## Electronics 1 – Electronic Devices (Floyd)

ملخّص المحاضرة ٢

# المحاضرة الثانية: وصلة الـ pn

## Lecture 2 – The pn Junction

الوحدة الأولى: مقدمة في الإلكترونيات — ملخّص مراجعة شامل للاختبار
مرجع مراجعة بالعربية — تعريفات ومقارنات وأمثلة


إعداد وشرح

**Eng. Emad Mahdy**

دوائر كهربية • إلكترونيات • إشارات وأنظمة • معالجات دقيقة

**WhatsApp: +20 12 7148 2006**

**YouTube: si-manual (Eng. Emad Mahdy)**

**https://si-manual.com**

لمزيد من الملخّصات والشروح تابع القناة والموقع


## فهرس المحتويات


1) التطعيم بالشوائب – Doping Adding Impurities
2) الشوائب الخماسية والثلاثية – Pentavalent and Trivalent Atoms
3) شبه الموصل السالب – N-Type Semiconductor
4) شبه الموصل الموجب – P-Type Semiconductor
5) الوصلة بين النوعين – The pn Junction
6) تكوّن منطقة الاستنزاف – Formation of the Depletion Region
7) جهد الحاجز – Barrier Potential
8) مخططات الطاقة عند الوصلة – Energy Diagrams at the Junction
9) الخلاصة وأسئلة المراجعة – Summary and Review Questions

## 1) التطعيم بالشوائب – Doping Adding Impurities

**This process, called doping, increases the number of current carriers (electrons or holes).**

التطعيم إضافة شوائب مضبوطة إلى البلورة النقية لزيادة عدد حاملات التيار فيها، وهي الإلكترونات والثقوب.

**Semiconductive materials do not conduct current well and are of limited value in their intrinsic state.**

شبه الموصل النقي رديء التوصيل، وفائدته محدودة في هذه الحالة.

**Intrinsic silicon (or germanium) must be modified by increasing the number of free electrons or holes to increase its conductivity and make it useful in electronic devices.**

ولهذا نزيد عدد الإلكترونات الحرة أو الثقوب داخله حتى ترتفع موصليته ويصلح للاستعمال في الأجهزة الإلكترونية.

**This is done by adding impurities to the intrinsic material.**

وتتمّ الزيادة بإضافة شوائب إلى المادة النقية.

## 2) الشوائب الخماسية والثلاثية – Pentavalent and Trivalent Atoms

**By adding certain impurities to pure (intrinsic) silicon, more holes or more electrons can be produced within the crystal.**

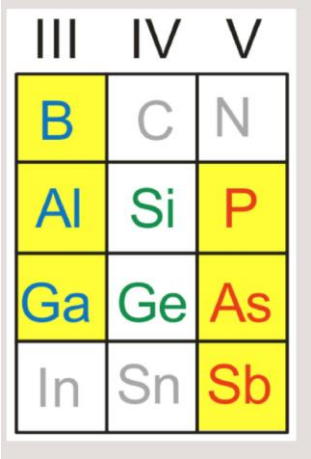
إضافة شوائب معيّنة إلى السليكون النقي تولّد داخل البلورة مزيدًا من الثقوب أو مزيدًا من الإلكترونات.

**To increase the number of conduction band electrons, pentavalent impurities are added, forming an n-type semiconductor. These are elements to the right of Si on the Periodic Table.**

لزيادة إلكترونات نطاق التوصيل نضيف شوائب خماسية التكافؤ، وهي عناصر المجموعة الخامسة الواقعة على يمين السليكون في الجدول الدوري.

**To increase the number of holes, trivalent impurities are added, forming a p-type semiconductor. These are elements to the left of Si on the Periodic Table.**

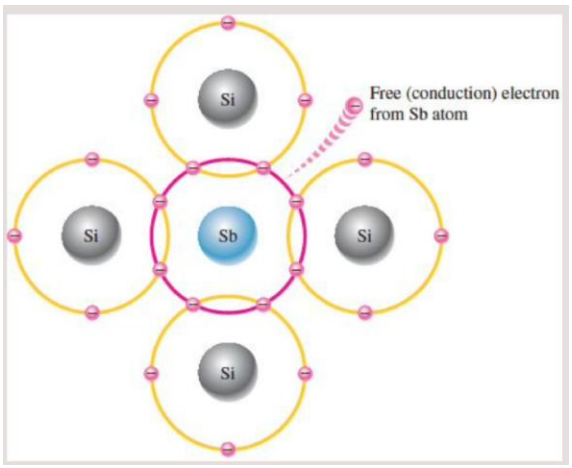
ولزيادة الثقوب نضيف شوائب ثلاثية التكافؤ، وهي عناصر المجموعة الثالثة الواقعة على يسار السليكون.




| نوع الشائبة | Pentavalent<br>خماسية التكافؤ | Trivalent<br>ثلاثية التكافؤ |
|---|---|---|
| المجموعة في الجدول الدوري | الخامسة، على يمين السليكون | الثالثة، على يسار السليكون |
| أمثلة من الشريحة | **P, As, Sb** | **B, Al, Ga** |
| عدد إلكترونات التكافؤ | خمسة | ثلاثة |
| الأثر في البلورة | إلكترون زائد يصبح إلكترونًا حرًّا | رابطة ناقصة يظهر مكانها ثقب |
| النوع الناتج | **n-type** | **p-type** |

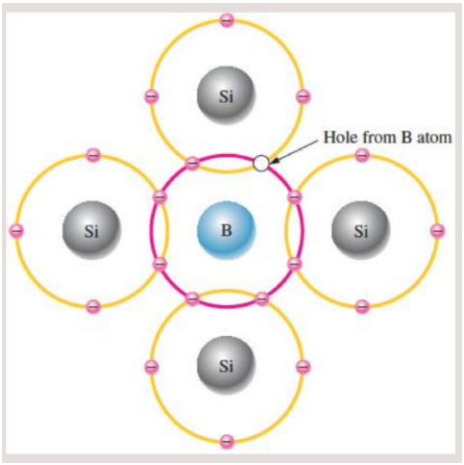
**Pentavalent impurity atom in a silicon crystal structure. The extra electron from the antimony (Sb) atom becomes a free electron.**

ذرّة الشائبة الخماسية ترتبط بأربع ذرّات سليكون بأربعة من إلكتروناتها، ويبقى الإلكترون الخامس بلا رابطة فيصبح إلكترونًا حرًّا.




**Trivalent impurity atom in a silicon crystal structure. A boron (B) impurity atom is shown in the center.**

ذرّة الشائبة الثلاثية تحمل ثلاثة إلكترونات فقط، فتنقص رابطة واحدة ويظهر مكانها ثقب.



## 3) شبه الموصل السالب – N-Type Semiconductor

**Since most of the current carriers are electrons, silicon (or germanium) doped with pentavalent atoms is an n-type semiconductor (the n stands for the negative charge on an electron).**

شبه الموصل السالب سليكون مطعّم بشوائب خماسية، وأغلب حاملات التيار فيه إلكترونات، والحرف في اسمه يشير إلى الشحنة السالبة للإلكترون.

**The electrons are called the majority carriers in n-type material.**

الإلكترونات هنا هي حاملات الأغلبية.

**There are also a few holes that are created when electron-hole pairs are thermally generated.**

ويوجد كذلك عدد قليل من الثقوب تنشأ من أزواج الإلكترون-الثقب التي تتولّد بالحرارة.

**Holes in an n-type material are called minority carriers.**

وهذه الثقوب هي حاملات الأقلية.

**Because the pentavalent atom gives up an electron, it is often called a donor atom.**

الذرّة المانحة اسم الشائبة الخماسية، لأنها تمنح البلورة إلكترونًا حرًّا.

حاملات الأغلبية تأتي من التطعيم، وحاملات الأقلية تأتي من التولّد الحراري لأزواج الإلكترون-الثقب. وهذا سؤال مباشر في أسئلة المراجعة.

## 4) شبه الموصل الموجب – P-Type Semiconductor

**Since most of the current carriers are holes, silicon (or germanium) doped with trivalent atoms is called a p-type semiconductor.**

شبه الموصل الموجب سليكون مطعّم بشوائب ثلاثية، وأغلب حاملات التيار فيه ثقوب.

**The holes are the majority carriers in p-type material.**

الثقوب هنا هي حاملات الأغلبية.

**There are also a few conduction-band electrons that are created when electron-hole pairs are thermally generated.**

ويوجد كذلك عدد قليل من إلكترونات نطاق التوصيل تتولّد بالحرارة.

**Conduction-band electrons in p-type material are the minority carriers.**

وهذه الإلكترونات هي حاملات الأقلية.

**Because the trivalent atom can take an electron, it is often referred to as an acceptor atom.**

الذرّة القابلة اسم الشائبة الثلاثية، لأنها تقبل إلكترونًا لتكمل رابطتها الناقصة.

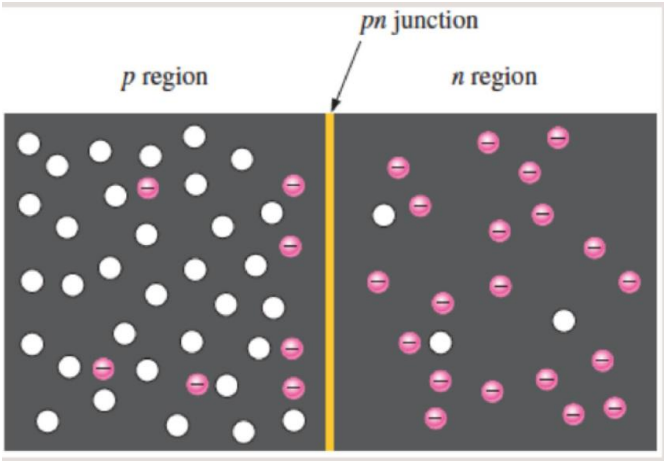
| وجه المقارنة | N-Type<br>النوع السالب | P-Type<br>النوع الموجب |
|---|---|---|
| الشائبة المضافة | خماسية التكافؤ | ثلاثية التكافؤ |
| اسم الذرّة المضافة | **Donor**<br>مانحة | **Acceptor**<br>قابلة |
| حاملات الأغلبية | إلكترونات | ثقوب |
| حاملات الأقلية | ثقوب | إلكترونات |
| مصدر حاملات الأغلبية | التطعيم بالشوائب | التطعيم بالشوائب |
| مصدر حاملات الأقلية | التولّد الحراري | التولّد الحراري |

المادة السالبة ليست مشحونة بشحنة سالبة، والمادة الموجبة ليست مشحونة بشحنة موجبة. كل منهما متعادلة كهربيًا كما تنصّ الشريحة، والاسم يشير إلى نوع حامل الأغلبية فيها فقط.

## 5) الوصلة بين النوعين – The pn Junction

**When you take a block of silicon and dope part of it with a trivalent impurity and the other part with a pentavalent impurity, a boundary called the pn junction is formed between the resulting p-type and n-type portions.**

الوصلة هي الحدّ الفاصل الذي ينشأ داخل قطعة سليكون واحدة عند تطعيم جزء منها بشوائب ثلاثية والجزء الآخر بشوائب خماسية.




**The basic silicon structure at the instant of junction formation showing only the majority and minority carriers.**

الشكل يبيّن البلورة في لحظة تكوّن الوصلة، ولم ترسم فيه غير حاملات الأغلبية والأقلية.

**The PN junction is the basis for diodes, transistors, solar cells, and other devices.**

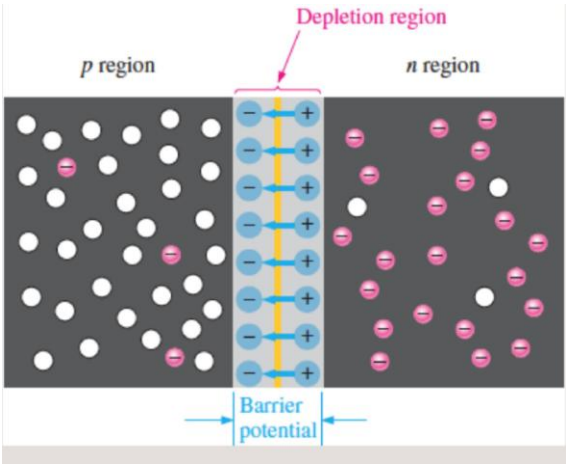
الوصلة هي أساس الثنائي والترانزستور والخلية الشمسية وغيرها من الأجهزة الإلكترونية.

الوصلة لا تتكوّن بلصق قطعتين إحداهما موجبة والأخرى سالبة، فهي تنشأ داخل بلورة واحدة بتطعيم كل جزء منها تطعيمًا مختلفًا.

## 6) تكوّن منطقة الاستنزاف – Formation of the Depletion Region

**At the instant of the pn junction formation, the free electrons near the junction in the n region begin to diffuse across the junction into the p region where they combine with holes near the junction.**

لحظة تكوّن الوصلة تبدأ الإلكترونات الحرة القريبة منها في الجزء السالب بالانتشار إلى الجزء الموجب، فتتحد مع الثقوب القريبة من الوصلة.




**Before the pn junction is formed, there are as many electrons as protons in the n-type material, making the material neutral in terms of net charge. The same is true for the p-type material.**

قبل تكوّن الوصلة يتساوى عدد الإلكترونات مع عدد البروتونات في كل جزء، فيكون الجزءان متعادلين كهربيًا.

**After the pn junction is formed, the n region loses free electrons as they diffuse across the junction.**

وبعد تكوّنها يفقد الجزء السالب إلكترونات حرة بانتشارها عبر الوصلة.

**This creates a layer of positive charges (pentavalent ions) near the junction.**

فتتخلّف طبقة من الشحنات الموجبة عند حافّته، وهي أيونات الشوائب الخماسية.

**As the electrons move across the junction, the p region loses holes as the electrons and holes combine.**

وفي المقابل يفقد الجزء الموجب ثقوبًا باتحادها مع الإلكترونات القادمة إليه.

**This creates a layer of negative charges (trivalent ions) near the junction.**

فتتخلّف طبقة من الشحنات السالبة عند حافّته، وهي أيونات الشوائب الثلاثية.

**These two layers of positive and negative charges form the depletion region.**

منطقة الاستنزاف هي الطبقتان المتجاورتان من الأيونات الموجبة والسالبة حول الوصلة، ولا تحتوي على حاملات أغلبية.

**In the end equilibrium is established and there is no further diffusion of electrons across the junction.**

ثم يصل النظام إلى اتزان يتوقّف عنده انتشار الإلكترونات عبر الوصلة.

منطقة الاستنزاف تتكوّن بالتأيّن كما تقول شريحة الخلاصة: الذرّة الخماسية التي فقدت إلكترونها تصبح أيونًا موجبًا، والذرّة الثلاثية التي كسبت إلكترونًا تصبح أيونًا سالبًا.

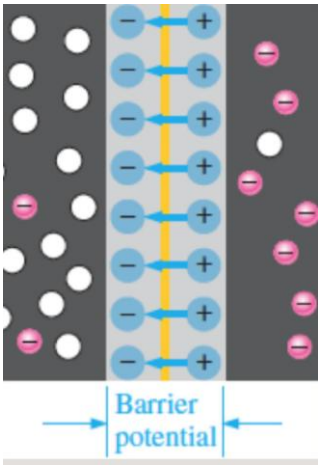
## 7) جهد الحاجز – Barrier Potential

**An electric field is established in the depletion region.**

ينشأ مجال كهربي داخل منطقة الاستنزاف بين طبقتي الأيونات.

**This electric field is a barrier to the free electrons in the n region, and energy must be expended to move an electron through the electric field.**

وهذا المجال يعمل حاجزًا أمام الإلكترونات الحرة في الجزء السالب، فلا يعبر الإلكترون الوصلة إلا إذا نال طاقة كافية.




**This potential difference is called the barrier potential and is expressed in volts. (0.7 V for silicon and 0.3 V for germanium at 25°C).**

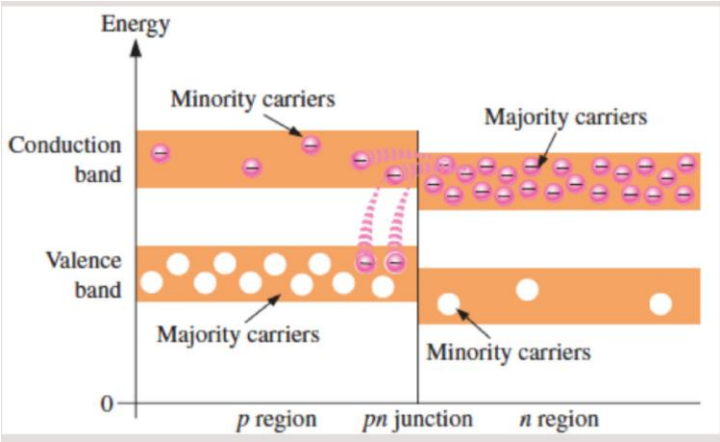
جهد الحاجز هو فرق الجهد الناشئ عبر منطقة الاستنزاف، ويقاس بالفولت.

| المادة | جهد الحاجز عند 25 درجة مئوية |
|---|---|
| **Silicon** سليكون | **0.7 V** |
| **Germanium** جرمانيوم | **0.3 V** |

## 8) مخططات الطاقة عند الوصلة – Energy Diagrams at the Junction

**The valence and conduction bands in the n region are at lower energy levels than those in the p region, but there is a significant amount of overlapping.**

نطاقا التكافؤ والتوصيل في الجزء السالب أخفض في الطاقة من النطاقين المقابلين في الجزء الموجب، مع تداخل كبير بينهما.




**The free electrons in the n region that occupy the upper part of the conduction band in terms of their energy can easily diffuse across the junction and temporarily become free electrons in the lower part of the p-region conduction band.**

الإلكترونات الحرة الواقعة في أعلى نطاق التوصيل في الجزء السالب تنتشر بسهولة عبر الوصلة، وتصبح مؤقتًا إلكترونات حرة في أسفل نطاق التوصيل في الجزء الموجب.

**After crossing the junction, the electrons quickly lose energy and fall into the holes in the p-region valence band.**

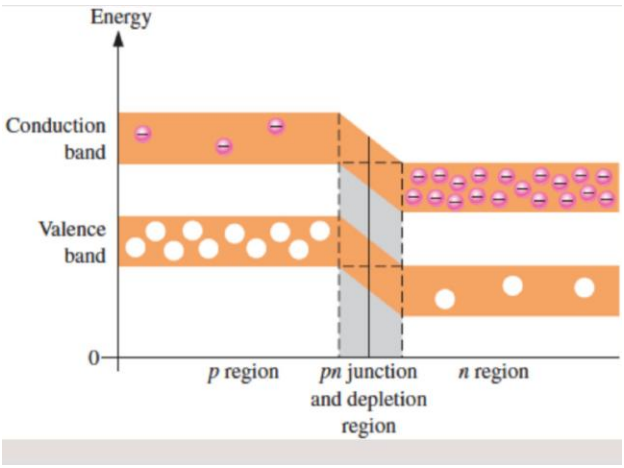
ثم تفقد هذه الإلكترونات طاقتها سريعًا وتسقط في ثقوب نطاق التكافؤ هناك.

**As the diffusion continues, the depletion region begins to form and the energy level of the n-region conduction band decreases.**

ومع استمرار الانتشار تبدأ منطقة الاستنزاف في التكوّن، وينخفض مستوى طاقة نطاق التوصيل في الجزء السالب.

**The decrease in the energy level of the conduction band in the n region is due to the loss of the higher-energy electrons that have diffused across the junction to the p region.**

وسبب الانخفاض هو فقد الإلكترونات عالية الطاقة التي عبرت إلى الجزء الموجب.




**After the depletion region is formed, there are no electrons left in the n-region conduction band with enough energy to get across the junction to the p-region conduction band, as indicated by the alignment of the top of the n-region conduction band and the bottom of the p-region conduction band.**

وبعد اكتمال منطقة الاستنزاف لا يبقى في نطاق التوصيل بالجزء السالب إلكترون له طاقة تكفي للعبور، ويظهر ذلك في الشكل من استواء قمة نطاق التوصيل في الجزء السالب مع قاع نطاق التوصيل في الجزء الموجب.

هذا هو الاتزان نفسه الذي ورد في قسم تكوّن منطقة الاستنزاف، لكنه مرسوم هنا بلغة مستويات الطاقة بدل لغة الأيونات.

## 9) الخلاصة وأسئلة المراجعة – Summary and Review Questions

**An n-type semiconductive material is created by adding impurity atoms that have five valence electrons. A p-type semiconductor is created by adding impurity atoms with only three valence electrons.**

المادة السالبة تنتج بإضافة ذرّات شائبة لها خمسة إلكترونات تكافؤ، والمادة الموجبة تنتج بإضافة ذرّات لها ثلاثة.

**The process of adding pentavalent or trivalent impurities to a semiconductor is called doping.**

وعملية إضافة هذه الشوائب اسمها التطعيم.

**A pn junction is formed when part of a material is doped n-type and part of it is doped p-type. A depletion region forms starting at the junction that is devoid of any majority carriers. The depletion region is formed by ionization.**

والوصلة تتكوّن عند تطعيم جزء من المادة ليصير سالبًا وجزء ليصير موجبًا، وتنشأ عندها منطقة استنزاف لا حاملات أغلبية فيها، وتكوّنها يتمّ بالتأيّن.

**The barrier potential is typically 0.7 V for a silicon diode and 0.3 V for germanium.**

وجهد الحاجز يساوي عادةً 0.7 فولت لثنائي السليكون و0.3 فولت للجرمانيوم.

### أسئلة المراجعة – Review Questions

| السؤال | الإجابة المختصرة |
|---|---|
| **1. Define doping.** | إضافة شوائب مضبوطة إلى شبه الموصل النقي لزيادة عدد حاملات التيار فيه. |
| **2. How is an n-type semiconductor formed?** | بتطعيم السليكون بشوائب خماسية التكافؤ، فيزيد عدد الإلكترونات الحرة. |
| **3. By what process are the majority carriers produced?** | بالتطعيم بالشوائب. |
| **4. By what process are the minority carriers produced?** | بالتولّد الحراري لأزواج الإلكترون-الثقب. |
| **5. What is the difference between intrinsic and extrinsic semiconductors?** | النقي لا شوائب مضافة فيه، والمطعّم أضيفت إليه شوائب خماسية أو ثلاثية. |
| **6. What is a pn junction?** | الحدّ الفاصل بين جزء موجب وجزء سالب داخل بلورة واحدة. |
| **7. Explain diffusion.** | انتشار الإلكترونات الحرة من الجزء السالب عبر الوصلة إلى الجزء الموجب حيث تتحد مع الثقوب. |
| **8. Describe the depletion region.** | منطقة حول الوصلة لا تحتوي على حاملات أغلبية، فيها طبقة أيونات موجبة جهة الجزء السالب وطبقة أيونات سالبة جهة الجزء الموجب. |
| **9. Explain what the barrier potential is and how it is created.** | فرق الجهد الناشئ عن المجال الكهربي بين طبقتي الأيونات، وقيمته 0.7 فولت للسليكون و0.3 فولت للجرمانيوم. |