



Lecture 2:

The PN junction

رابط الكورس كامل علي موقع *si-manual*
<https://si-manual.com/courses/electronics-2>



By Eng. Emad Mahdy

WhatsApp: +201100184676

<https://www.youtube.com/channel/UC2VtseEd46wuDfmDXhfB9Ag>

<https://si-manual.com>

By Eng. Emad Mahdy

WhatsApp: +201100184676

<https://www.youtube.com/channel/UC2VtseEd46wuDfmDXhfB9Ag>

<https://si-manual.com>



Content

1. Doping (Adding Impurities) (إضافة شوائب) التطعيم
2. N-Type Semiconductor شبه الموصل من النوع ان
3. P-Type Semiconductor شبه الموصل من النوع بي
4. The PN Junction البوابة
5. Formation of the Depletion Region تكون منطقة النضوب
6. Barrier Potential فرق جهد الحاجز
7. Energy diagrams مخططات الطاقة
8. Summery الملخص
9. Questions الاسئلة



التطعيم (إضافة شوائب) (Doping (Adding Impurities)

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

اشباه الموصلات لا توصل التيار بشكل جيد و هي حالتها النقية.

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.

يجب تعديل السيليكون النقي (أو الجرمانيوم النقي) عن طريق زيادة عدد الإلكترونات الحرة أو الثقوب لزيادة التوصيلية الكهربائية وجعله مفيداً في الأجهزة الإلكترونية.

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

يتم ذلك عن طريق إضافة شوائب إلى شبه الموصل النقي.

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

هذه العملية ، التي تسمى التطعيم ، تزيد من عدد حاملات التيار الكهربائي (الإلكترونات أو الثقوب).

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

عن طريق إضافة شوائب معينة إلى السيليكون النقي ، يمكن إنتاج المزيد من الثقوب أو المزيد من الإلكترونات داخل بلورة السيليكون

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 عدد الاكترونيات الحرة، يتم اضافة شوائب خماسية التكافؤ ، و بالتالي يتشكل شبه موصل من النوع n.

هذه هم العناصر الموجودة على يمين ذرة السيليكون Si في الجدول الدوري

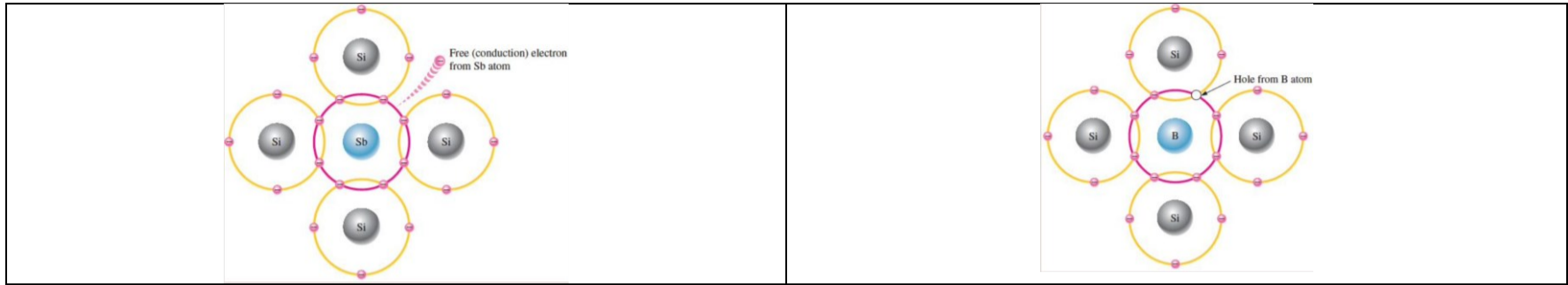
To increase the number of holes, **trivalent impurities** are added, forming a p-type semiconductor.

These are elements to the left of Si on the Periodic Table.

لزيادة عدد الثقوب ، تتم إضافة شوائب ثلاثية التكافؤ لتشكيل أشباه الموصلات من النوع p.

هذه عناصر على يسار ذرة السيليكون Si في الجدول الدوري.

Pentavalent impurity شوائب خماسية	Trivalent impurity شوائب ثلاثية
<p>Pentavalent impurity atom in a silicon crystal structure. The extra electron from the antimony (Sb) atom becomes a free electron.</p> <p>ذرة شوائب خماسية التكافؤ في بلورة السيليكون. يصبح الإلكترون الإضافي من ذرة الأنتيمون (Sb) إلكترونًا حرًا.</p>	<p>Trivalent impurity atom in a silicon crystal structure. A boron (B) impurity atom is shown in the center.</p> <p>ذرة شوائب ثلاثية التكافؤ في بلورة السيليكون. تظهر ذرة شائبة بورون (ب) في المركز و تصبح ثقب.</p>
زيادة عدد الاكترونيات الحرة	زيادة عدد الثقوب
يتشكل شبه موصل من النوع N	يتشكل شبه موصل من النوع P





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**).

نظرًا لأن معظم حاملات التيار عبارة عن إلكترونات ، فإن السيليكون (أو الجرمانيوم) المطعم بذرات خماسية التكافؤ هو نوع *n* أشباه الموصلات (يرمز الحرف *n* إلى الشحنة السالبة على الإلكترون).

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

تعتبر الإلكترونات أغلبية حاملات التيار في المادة من النوع *n*.

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

هناك أيضًا عدد قليل من الثقوب التي يتم إنشاؤها عندما يتولد بسبب الحرارة (زوج-ثقب) إلكترون.

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

تسمى الثقوب الموجودة في مادة من النوع *n* اقلية حاملات التيار.

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

نظرًا لأن الذرة خماسية التكافؤ تفقد إلكترون ، فإنها تسمى ذرة مانحة.



P-Type Semiconductor

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

يتم تطعيم السيليكون (أو الجرمانيوم) المطعم بالذرات ثلاثية التكافؤ (و بالتالي معظم حاملات التيار عبارة عن ثقوب) و يسمى شبه الموصل من النوع p.

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

الثقوب هي اقلية حاملات التيار في شبه الموصل من النوع P.

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

هناك أيضًا عدد قليل من الإلكترونات في نطاق التوصيل التي يتم إنشاؤها عندما تتولد بسبب الحرارة (زوج ثقب-إلكترون)

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

تعتبر الإلكترونات ا في شبه الموصل من النوع p هي اقلية حاملات التيار.

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

لأن الذرة ثلاثية التكافؤ تأخذ إلكترون من ذرة اخرى ، فأنها تسمى ذرة متقبلة (أخذة).



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.

عندما تأخذ كتلة من السيليكون وتطعم جزء منها بشوائب ثلاثية التكافؤ والجزء الآخر بشوائب خماسية التكافؤ يتم تشكيل بوابة PN بين الأجزاء الناتجة من النوع P و النوع N.

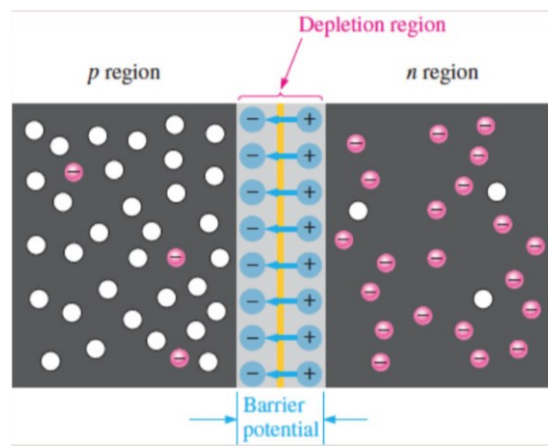
The PN junction is the basis for diodes, transistors, solar cells, and other devices.

بوابة ال PN هو أساس نصنيع الداويد والترانزستور والخلايا الشمسية والأجهزة الأخرى.

تكوين منطقة النضوب 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.

في لحظة تشكل بوابة ال PN ، تبدأ الإلكترونات الحرة بالقرب من البوابة في المنطقة N بالانتشار عبر البوابة و تتجه إلى المنطقة P حيث تندمج مع الثقوب الموجودة بالقرب من البوابة.



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 تشكيل البوابة PN ، يوجد عدد من الإلكترونات يساوي عدد البروتونات في المادة من النوع n ، مما يجعل المادة محايدة من حيث الشحنة الكلية. وينطبق الشيء نفسه على المواد من النوع p .

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

بعد تشكيل البوابة PN ، تفقد المنطقة n الإلكترونات الحرة لأنها تنتشر عبر البوابة.

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

هذا يخلق طبقة من الشحنات الموجبة (أيونات خماسية التكافؤ) بالقرب من البوابة.

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

عندما تتحرك الإلكترونات عبر البوابة ، تفقد المنطقة p ثقوبًا حيث تتحد الإلكترونات والثقوب.

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

هذا يخلق طبقة من الشحنات السالبة (الأيونات ثلاثية التكافؤ) بالقرب من البوابة.

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

تشكل هاتان الطبقتان من الشحنات الموجبة والسالبة منطقة النضوب.

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

في النهاية يحدث التوازن ويتوقف انتشار الإلكترونات عبر البوابة.



Barrier Potential فرق جهد الحاجز

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

يتكون مجال كهربائي في منطقة النضوب.

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.

هذا المجال الكهربائي يشكل حاجز أمام الإلكترونات الحرة في المنطقة n ، ويجب اطلاق طاقة لتحريك تلك الإلكترونات عبر المجال الكهربائي.

This Potential difference is called the barrier potential and is expressed in volts.

يسمى هذا الاختلاف في الجهد ب جهد الحاجز ويقاس بوحدة بالفولت.

(.7 V for silicon and .3 V for germanium at 25°C).



مخططات الطاقة Energy Diagrams

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.

نطاقات التكافؤ و نطاقات التوصيل في المنطقة n توجد عند مستويات طاقة أقل من تلك الموجودة في المنطقة p ، ولكن هناك قدرًا كبيرًا من التداخل بينهم.

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.

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

يمكن للإلكترونات الحرة في المنطقة n التي تشغل الجزء العلوي من نطاق التوصيل من حيث طاقتها أن تنتشر بسهولة عبر البوابة وتصبح إلكترونات حرة بشكل مؤقت في الجزء السفلي من نطاق التوصيل للمنطقة p .

تفقد الإلكترونات طاقتها بسرعة بعد عبورها البوابة وتسقط في الثقوب الموجودة في نطاق تكافؤ المنطقة p .

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

مع استمرار الانتشار ، تبدأ منطقة النضوب في التكون وينخفض مستوى الطاقة في نطاق التوصيل للمنطقة n .

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.

يرجع الانخفاض في مستوى الطاقة في نطاق التوصيل في المنطقة n إلى فقدان الإلكترونات عالية الطاقة التي انتشرت عبر التقاطع إلى المنطقة p .

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.

بعد تشكيل منطقة النضوب ، لا توجد أي إلكترونات متبقية في نطاق التوصيل للمنطقة n تمتلك طاقة كافية لعبور البوابة إلى نطاق التوصيل للمنطقة p ، كما يتضح من محاذاة الجزء العلوي من نطاق التوصيل للمنطقة n وأسفل نطاق التوصيل للمنطقة p .



Summary

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.

يتم إنشاء مادة شبه موصلة من النوع n عن طريق إضافة ذرات شائبة تحتوي على خمسة إلكترونات تكافؤ.
يتم إنشاء أشباه الموصلات من النوع p عن طريق إضافة ذرات الشوائب مع ثلاثة إلكترونات تكافؤ فقط.

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

تسمى عملية إضافة شوائب خماسية التكافؤ أو شوائب ثلاثية التكافؤ إلى أشباه الموصلات بالتطعيم

A *p n* 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.

تتشكل بوابة PN عندما يكون جزء من مادة مطعم من النوع n وجزء منه مطعم من النوع p.

تتشكل منطقة النضوب بدءًا من البوابة و تخلص من أي ناقلات أغلبية للتيار.

تتشكل منطقة النضوب عن طريق التأين.

The barrier potential is typically .7 V for a silicon diode and 0.3 V for germanium.

عادة ما يكون فرق جهد الحاجز 0.7 V للديود السليكوني و 0.3 V للجرمانيوم.



Review Questions

- Define doping.
- How is an n -type semiconductor formed?
- By what process are the majority carriers produced?
- By what process are the minority carriers produced?
- What is the difference between intrinsic and extrinsic semiconductors?

- What is a PN junction?

- Explain diffusion.

- Describe the depletion region.

- Explain what the barrier potential is and how it is created.