| | |
|---|---|
| الكلية | كلية الهندسة |
| القسم | قسم الهندسة الكهربائية |
| المادة باللغة الانجليزية | Fundamentals of Electronics I |
| المادة باللغة العربية | أسس الإلكترونيك ١ |
| المرحلة الدراسية | الثانية |
| اسم التدريسي | حامد ردام حسين |
| عنوان المحاضرة باللغة الانجليزية | SEMICONDUCTOR DIODES |
| عنوان المحاضرة باللغة العربية | ثنائيات أشباه الموصلات |
| رقم المحاضرة | 2 |
| المصادر والمراجع | Electronic Devices and Circuit Theory 11$^{th}$Edition by Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky |
| | Electronic Devices 9th Edition by Thomas L. Floyd |
| | |

# Fundamentals of Electronics I

## Circuits, Devices, and Applications

## CHAPTER 1: SEMICONDUCTOR DIODES

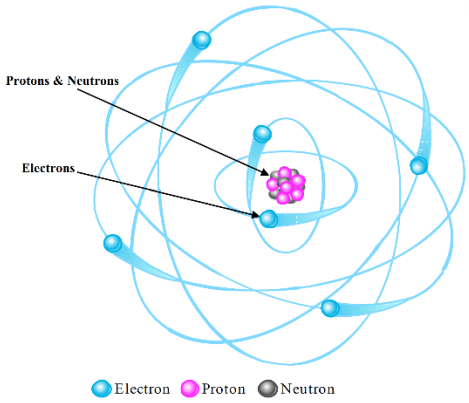
### CHAPTER OBJECTIVES

- Become aware of the general characteristics of three important semiconductor materials: Si, Ge, GaAs.
- Understand conduction using electron and hole theory.
- Be able to describe the difference between *n* - and *p* -type materials.
- Develop a clear understanding of the basic operation and characteristics of a diode in the no-bias, forward-bias, and reverse-bias regions.
- Be able to calculate the dc, ac, and average ac resistance of a diode from the characteristics.
- Understand the impact of an equivalent circuit whether it is ideal or practical.
- Become familiar with the operation and characteristics of a Zener diode and light- emitting diode.

### 1.1 The Bohr atom

– The **Bohr atoms** are useful for visualizing atomic structure.

– نموذج العالم بور للذرة مفيد جدا لتصور تركيب الذرة و تخيل شكلها.



– The nucleus is positively charged and has protons and neutrons.

– النواة موجبة الشحنة وتحتوي النواه على بروتونات ونيوترونات.

– **Electrons** are negatively charged and in **discrete shells**.

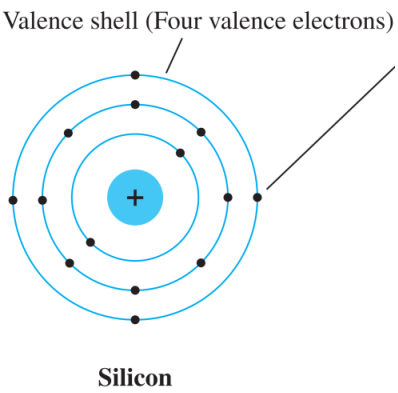
– الإلكترونات سالبة الشحنة و تدور في مدرات منفصلة تسمي أغلفة (shells).

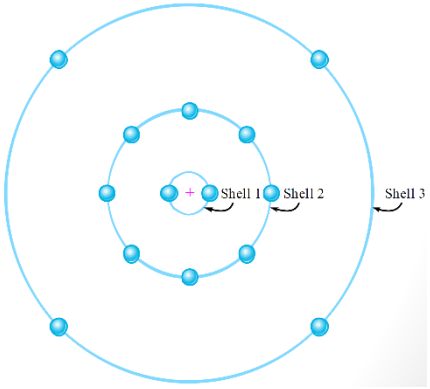
– The **atomic number** is the number of protons and determines the particular element.

- العدد الذري هو عدد البروتونات في الذرة ويحدد ما هو العنصر (يعني كل عنصر له العدد الذري الخاص به).
- In the **neutral atom**, the number of electrons is equal to the number of protons.
- في أي ذرة متعادلة الشحنة: عدد الإلكترونات = عدد البروتونات

## 1.2 The valence shell غلاف التكافؤ

- The outer shell is called the ***valence shell***.
- الغلاف الخارجي للذرة يسمى مدار التكافؤ.
- Electrons in this shell are involved in chemical reactions and they account for electrical and thermal conductivity in metals.
- تشارك الإلكترونات الموجودة في هذا الغلاف في التفاعلات الكيميائية وهي المسؤولة عن التوصيل الكهربائي والحراري في المعادن.
- A neutral Si atom is shown. There are 4 electrons in the valence shell.
- في ذرة السليكون المحايدة. هناك ٤ إلكترونات في غلاف التكافؤ.

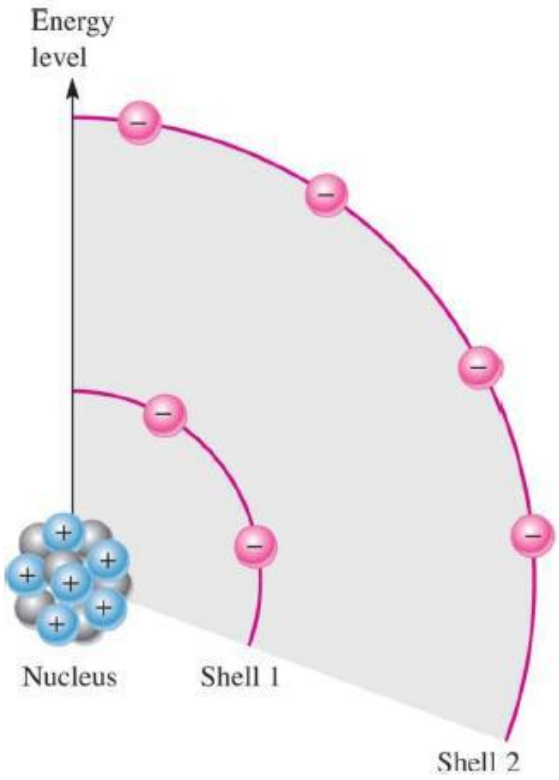


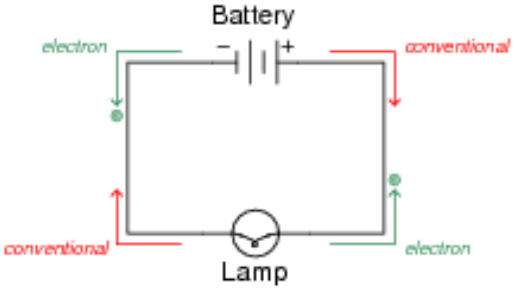

- **Elements** are primarily divided into two categories: **metals and non-metals**.
- **Metals** have one, two or three electrons in the valence shell.
- تحتوي المعادن (الفلزات) على إلكترون واحد أو إثنين أو ثلاثة إلكترونات في غلاف التكافؤ.
- **Non-metals** have either complete or nearly compete outer shells, so they make poor electrical conductors.
- تحتوي اللافلزات (العوازل) على أغلفة خارجية كاملة أو شبه كاملة ، لذلك تعتبر موصلات كهربائية رديئة.

## 1.3 The Atom Properties

- Electrons with the highest energy levels exist in the outermost shell of an atom and are loosely bound to the atom.
- This outermost shell is known as the valence shell and electrons in the shell are called valence electrons.
- When an electron gains a certain amount of energy, it moves to an orbit farther from the nucleus.
- Energy increases as the distance from the nucleus increases.
- The process of losing an electron is called ionization.
- The escaped valence electron is called a free electron.




## 1.4 Conventional Current vs. Electron Flow




Conventional Current: By convention current flows from the **positive to negative** terminals.

الاتجاه الاصطلاحي للتيار: هذه هي الطريقة التي نستخدمه في حل المسائل في مادة الاكترونيات و الدوائر و في كل المواد الأخرى.

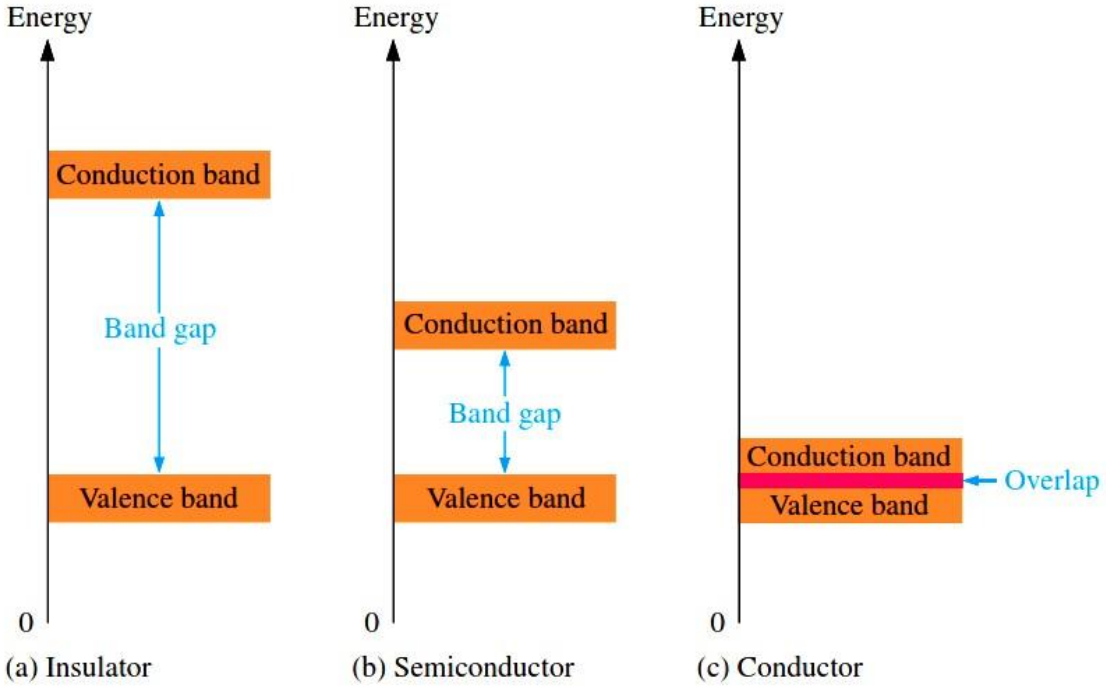
Electron Flow: Current follows electron flow, from the **negative to positive** terminals. الاتجاه الحقيقي للتيار

## 1.5 Materials used in Electronics: Insulators, Conductors, and Semiconductors

- **Insulators** are materials that does not conduct electrical current under normal conditions.
  - العوازل هي مادة لا تقوم بتوصيل تيار كهربائي في الظروف العادية.
- **Most insulators** are compounds and have very high resistivities.
  - معظم العوازل عبارة عن مواد مركب ة ولها مقاومة عالية جدًا.
- **Valence electrons** are tightly bound to the atoms.
  - إلكترونات التكافؤ مرتبطة بقو ة بالذرات في العوازل.
- Examples of insulators are rubber, plastics, glass, mica, and quartz.
  - من أمثلة العوازل: المطاط – البلاستيك - الزجاج - الميكا - الكوارتز.

- Conductors is a material that easily conducts electrical current.
- للموصلات هي مواد توصل التيار الكهربائي بسهولة.
- Most metals are good conductors.
- معظم المعادن عبارة عن موصلات جيدة.
- The best conductors are single-element materials, such as silver (Ag), copper (Cu), gold (Au), and aluminum (Al), which are characterized by atoms with only one valence electron very loosely bound to the atom.
- أفضل المواد توصيلا للكهرباء هي المواد أحادية العنصر ، مثل (Cu) و (Ag) و (Au) و (Al), والتي تتميز بذرات لها إلكترون تكافؤ واحد فقط مرتبط بشكل ضعيف جدًا بالذرة.
- **Semiconductors** is a material that is between conductors and insulators in its ability to conduct electrical current.
- أشباه الموصلات هي مادة بين الموصلات والعوازل من حيث قدرتها على توصيل التيار الكهربائي.
- The single-element semiconductors are characterized by atoms with four valence electrons.
- تتميز أشباه الموصلات أحادية العنصر بذرات تحتوي على أربعة إلكترونات تكافؤ.
- **Silicon** is the most commonly used semiconductor.
- السيليكون هو من اكثر أشباه الموصلات استخدامًا.

## 1.6 Energy diagrams

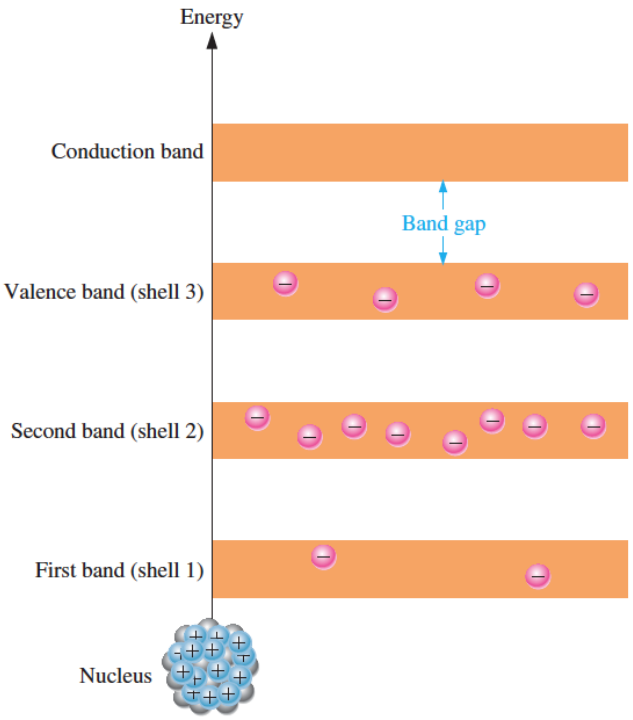



Energy diagram for the three types of materials

## 1.7 What is a Semiconductor?

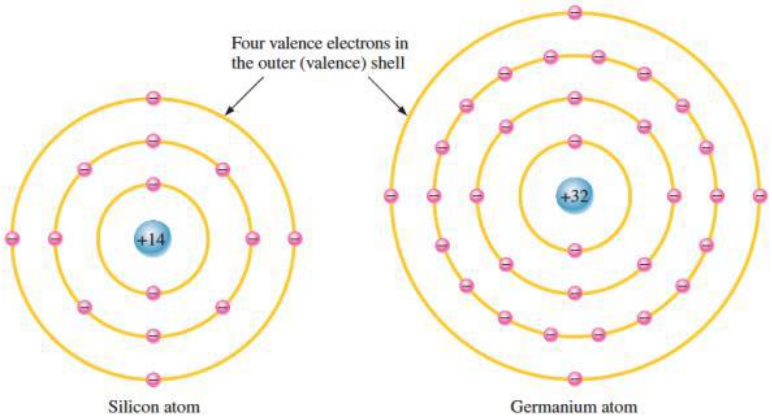
- **A semiconductor** is a material that has electrical conductivity between that of a conductor (like metals) and an insulator (like glass). The conductivity of semiconductors can be manipulated by introducing impurities (doping) and by external conditions such as temperature and light.

- **Semiconductors** are crystalline materials that are characterized by specific energy bands for electrons.
  - أشباه الموصلات هي مواد بلورية تتميز بنطاقات طاقة محددة للإلكترونات.
- Between the bands are gaps; these gaps represent energies that electrons cannot have.
  - بين هذة الروابط توجد فجوات. تمثل هذه الفجوات مستويات طاقة لا يمكن أن تمتلكها الإلكترونات.
- The last energy band is the **conduction band,** where electrons are mobile.
  - النطاق الأخير للطاقة هو نطاق التوصيل، حيث تكون الإلكترونات فيه متحركة.
- The next to the last band is the **valence band,** which is the energy level associated with electrons involved in bonding.




- بجانب مستوي الطاقة الاخير يوجد نطاق التكافؤ ، وهو مستوى الطاقة المرتبط بالإلكترونات المشاركة في الترابط.

- Both the **silicon** and **germanium atoms** have four valence electrons.
  - تحتوي كل من ذرات السيليكون والجرمانيوم على أربعة إلكترونات تكافؤ.
- These atoms differ in that silicon has 14 protons in its nucleus and germanium has 32.
  - لكن الاختلاف بين ذرة السليكون و الجرمانيوم يكمن في عدد البروتونات فالسيليكون يحتوي على ١٤ بروتونًا في نواته بينما الجرمانيوم يحتوي على ٣٢ بروتون.

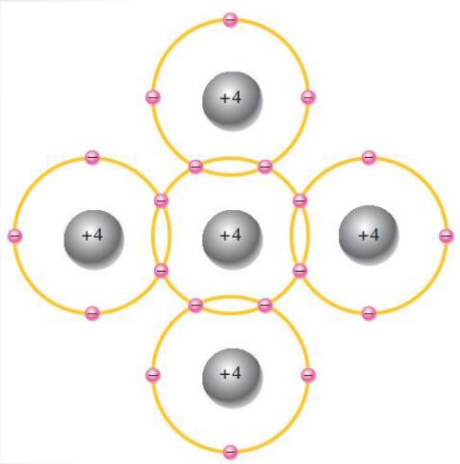



- The valence electrons in germanium are in the **fourth shell** while the ones in silicon are in the **third shell** closer to the nucleus.
  - توجد إلكترونات التكافؤ في الجرمانيوم في الغلاف الرابع بينما توجد الإلكترونات الموجودة في السيليكون في الغلاف الثالث أقرب إلى النواة.

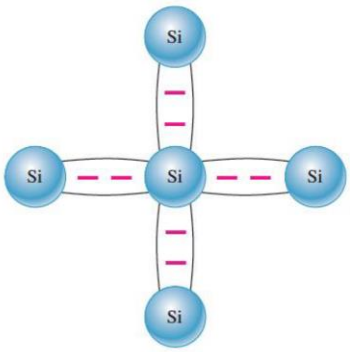
- This means that the germanium valence electrons are at a higher energy level than those in silicon and therefore requires a small amount of additional energy to escape from the atom.
  - هذا يعني أن إلكترونات التكافؤ للجرمانيوم تكون عند مستوى طاقة أعلى من تلك الموجودة في السيليكون ، وبالتالي تتطلب كمية صغيرة من الطاقة الإضافية للهروب من الذرة.
- This property makes germanium more unstable than silicon at high temperatures.
  - هذه الخاصية تجعل الجرمانيوم غير مستقر أكثر من السيليكون في درجات الحرارة العالية.
- **Types of Semiconductors:** The two primary types are intrinsic (pure) and extrinsic (doped).
  - **Intrinsic Semiconductors:** - Pure semiconductors that have no significant impurities. Examples: Silicon (Si), Germanium (Ge).
  - **Extrinsic Semiconductors:** - Extrinsic semiconductors are created by adding impurity atoms to intrinsic semiconductors.

## 1.8 Covalent bonds in an intrinsic silicon crystal

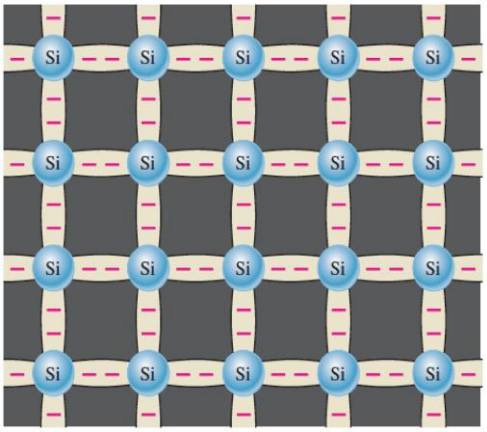
**الروابط التساهمية في بلورة السيليكون النقية**




The center silicon atom shares an electron with each of the four surrounding silicon atoms, creating a covalent bond with each. The surrounding atoms are in turn bonded to other atoms, and so on.




Bonding diagram. The red negative signs represent the shared valence electrons.



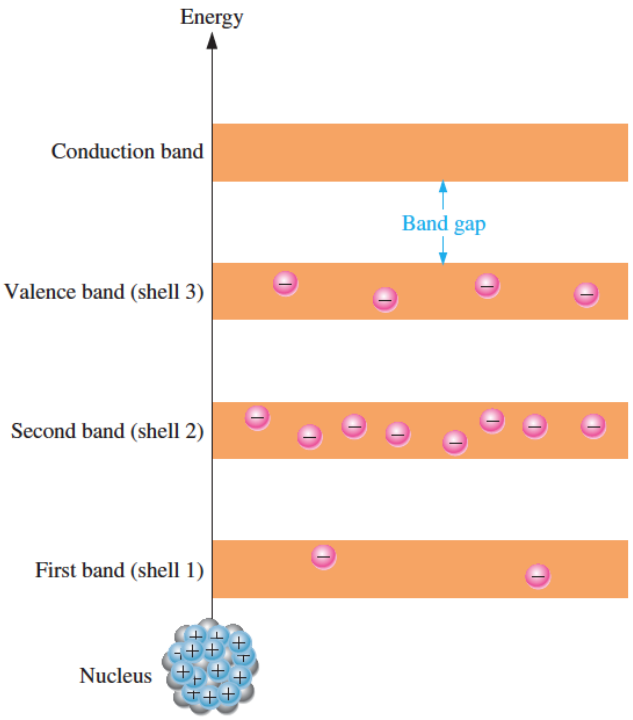

Covalent bonds in a silicon crystal.

Covalent bonding tor germanium is similar because it also has four valence electrons.

يتشابه الترابط التساهمي مع الجرمانيوم لأنه يحتوي أيضًا على أربعة إلكترونات تكافؤ.

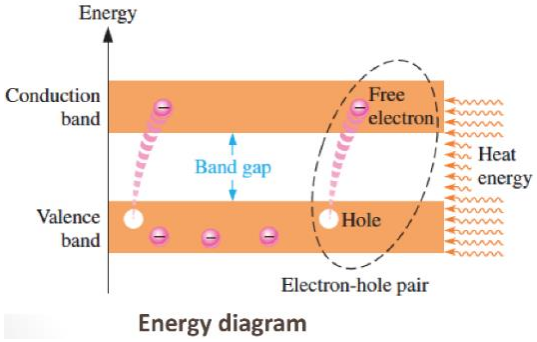
## 1.9 Current in semiconductors

- Each shell around the nucleus corresponds to a certain energy band and is separated from adjacent shells by band gaps, in which no electrons can exist.
  - كل غلاف حول النواة ينتمي الي نطاق طاقة معين منفصل عن الأغلفة المجاورة بواسطة فجوات نطاق ، و التي لا يمكن أن تتواجد أي إلكترونات فيها.
- The Figure shows the energy band diagram for an unexcited (no external energy such as heat) atom in a pure (intrinsic) silicon crystal.
  - يوضح الشكل المقابل مخطط نطاق الطاقة لذرة غير مستثارة (بدون أي طاقة مؤثرة خارجية كالحرارة مثلا) في بلورة سيليكون نقية.
- This condition occurs only at a temperature of absolute 0 Kelvin.
  - تحدث هذه الحالة فقط عند درجة حرارة مطلقة تساوي صفر كلفن.

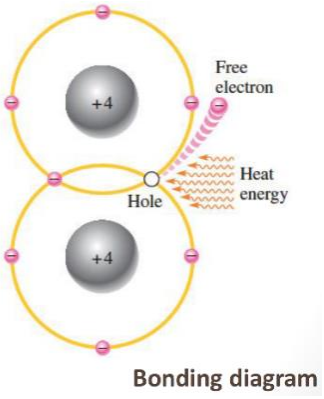


## 1.10 Conduction Electrons and Holes

- An intrinsic (pure) silicon crystal at room temperature has sufficient heat (thermal) energy for some valence electrons to jump the gap from the valence band into the conduction band, becoming free electrons.
- تحتوي بلورة السيليكون النقية في درجة حرارة الغرفة على طاقة حرارية كافية لبعض إلكترونات التكافؤ لقفز الفجوة من نطاق التكافؤ إ لى نطاق التوصيل ، لتصبح إلكترونات حرة.
- Free electrons are also called **conduction electrons.**
- الإلكترونات الحرة تسمى أيضًا إلكترونات التوصيل.

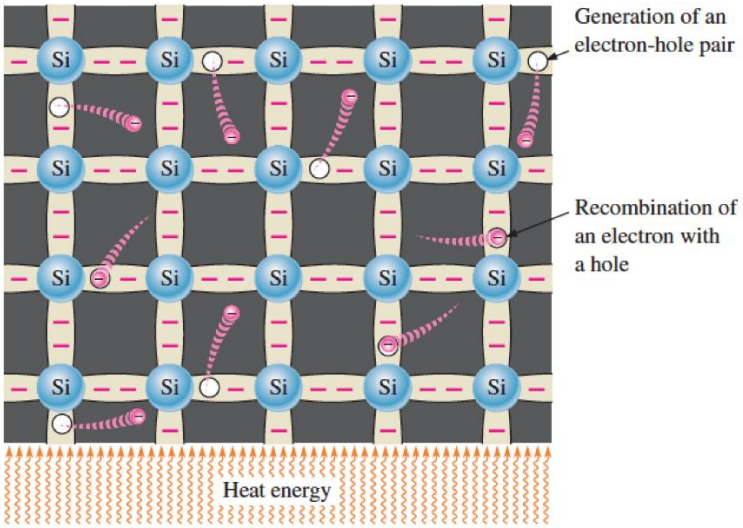


Energy diagram



Bonding diagram

- When an **electron jumps** to the conduction band, a **vacancy** is left in the valence band within the crystal.
- عندما يقفز إلكترون إلى نطاق التوصيل ، يترك مكانه فارغا في نطاق التكافؤ داخل البلورة.
- This vacancy is called a **hole.**
- هذا المكان الفارغ يسمى ثقب.
- For every electron raised to the conduction band by external energy, there is one hole left in the valence band, creating what is called an **electron-hole pair.**
- لكل إلكترون يتم رفعه إلى نطاق التوصيل بواسطة طاقة خارجية، يترك مكانه ثقب في نطاق التكافؤ ، مما ينتج عنه ما يسمى (بزوج ثقب إلكترون).
- Recombination occurs when a conduction-band electron loses energy and falls back into a hole in the valence band.
- تحدث إعادة التركيب (تعود الذرة لوضعها) عندما يفقد إلكترون نطاق التوصيل الطاقة التي اكتسبها سابقا و بالتالي يسقط مرة أخرى في ثقب في نطاق التكافؤ.



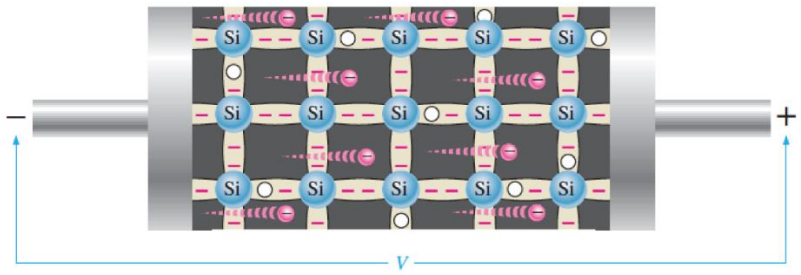

**Electron-hole pairs in a silicon crystal. Free electrons are being generated continuously while some recombine with holes.**

- When a **voltage** is applied across a piece of intrinsic silicon, the thermally generated free electrons in the conduction band, which are free to move randomly in the crystal structure, are now easily attracted toward the positive end.

- عندما يتم تطبيق جهد كهربي علي قطعة من السيليكون النقي ، فإن الإلكترونات الحرة المتولدة حراريا في نطاق التوصيل ، والتي تكون حرة في التحرك بشكل عشوائي في التركيب البلوري ، تنجذب الآن بسهولة نحو الطرف الموجب.

- This movement of free electrons is one type of **current** in a semiconductive material and is called ***electron current.***

- هذه الحركة للإلكترونات الحرة هي نوع واحد من التيار في مادة شبه موصلة وتسمى تيار الإلكترون.




**Electron current in intrinsic silicon is produced by the movement of thermally generated free electrons.**

- Another **type of current** occurs in the valence band, where the **holes** created by the free electrons exist.

- نوع آخر من التيار يحدث في نطاق التكافؤ ، بسبب الثقوب التي أنشأتها الإلكترونات الحرة.

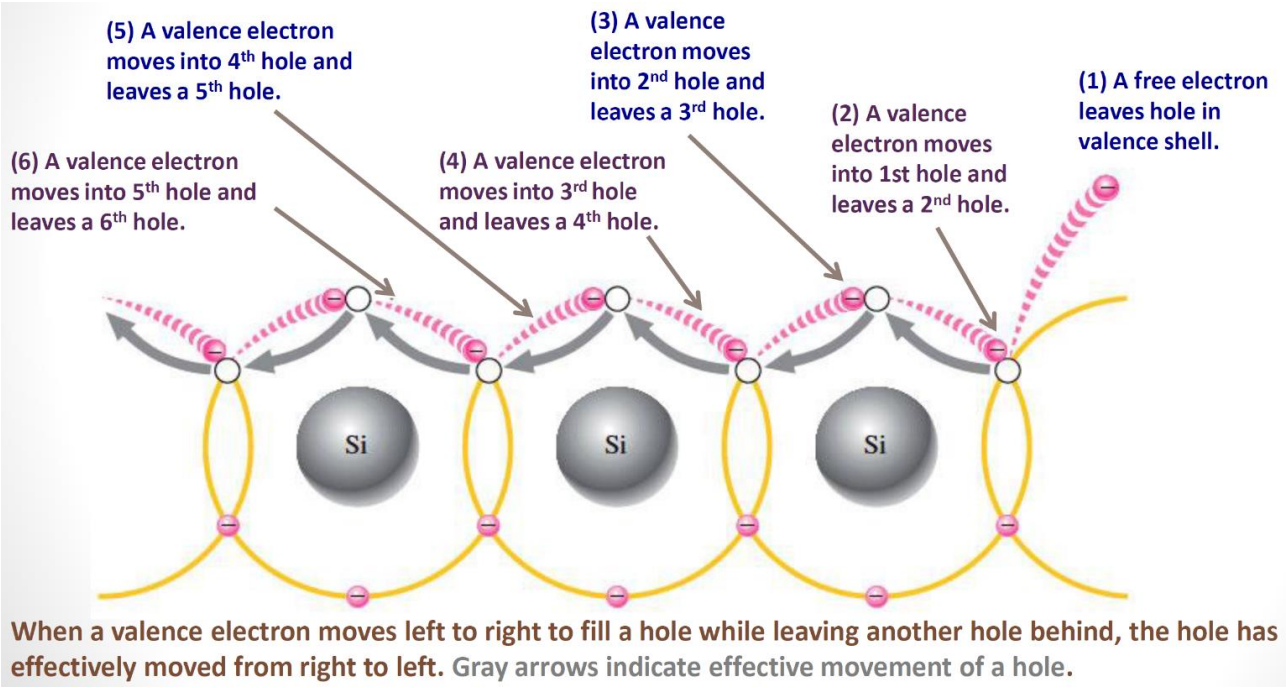
- Electrons remaining in the valence band are still attached to their atoms and are not free to move randomly in the crystal structure as are the free electrons. However, a valence electron can move into a nearby hole, thus leaving another hole where it came from.

- الإلكترونات المتبقية في نطاق التكافؤ تظل متصلة بذراتها وليست حرة في التحرك بشكل عشوائي في التركيب البلوري مثل الإلكترونات الحرة. ومع ذلك ، يمكن أن ينتقل إلكترون التكافؤ إلى ثقب قريب ، مما يترك فجوة أخرى في نفس المكان الذي اتي منه.

- Effectively the hole has moved from one place to another in the crystal structure, as illustrated in Figure.

- انتقل الثقب بشكل فعال من مكان إلى آخر في التركيب البلوري ، كما هو موضح في الشكل.
- Although current in the valence band is produced by valence electrons, it is called ***hole current*** to distinguish it from electron current in the conduction band.
- على الرغم من أن التيار في نطاق التكافؤ يتم إنتاجه عن طريق إلكترونات التكافؤ ، إلا أنه يسمى Hole current لتمييزه عن ال electron current في نطاق التوصيل.

## 1.11 Holes Current




**When a valence electron moves left to right to fill a hole while leaving another hole behind, the hole has effectively moved from right to left.** Gray arrows indicate effective movement of a hole.

## 1.12 Questions

1) What is the basic difference between conductors and insulators?
2) How do semiconductors differ from conductors and insulators?
3) Why does a semiconductor have fewer free electrons than a conductor?
4) How are covalent bonds formed?
5) What is meant by the term intrinsic?
6) Are free electrons in the valence band or in the conduction band?
7) Which electrons are responsible for electron current in silicon?
8) What is a hole?
9) At what energy level does hole current occur?