Republic of Iraq

Ministry of Higher Education

and Scientific Research

Al-Mustaqbal University College

Chemical Engineering and Petroleum Industries Department

Subject: Materials Science and Engineering

2nd Class

Lecture four

Electrical Properties

relates the current I—or time rate of charge passage—to the applied voltage V as follows :

$$V = IR$$

where R is the resistance of the material through which the current is passing .The units for V, I, and R are, respectively, volts (J/C), amperes (C/s), and ohms(V/A).
The value of R is influenced by specimen configuration , and for many materials is independent of current. The resistivity (ρ) is independent of specimen geometry but related to R through the expression:

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

حيث R هي مقاومة المادة التي يمر بها التيار. تكون وحدات V و I و R على التوالي فولتية (J / C) وأمبير (C / s) وأوم (V / A).

قيمة المقاومة تعتمد على تركيب وتشكيل المادة، وبالنسبة للعديد من المواد تكون غير معتمدة على التيار. الممانعة (ρ)لا تعتمد على تركيب او تشكيل المواد ولكنها تتعلق بـ R من خلال التعبير:

where l is the distance between the two points at which the voltage is measured and A is the cross-sectional area perpendicular to the direction of the current . The units for ρ are ohm-meters (Ω-m).

حيث l هي المسافة بين النقطتين اللتين يقاس بهما الفولطية و A هي منطقة المقطع العرضي المتعامدة مع اتجاه التيار. وحدات ρ هي أوم متر (Ω-م).

$$\rho = \frac{VA}{Il}$$

Resistivity (ρ): The reciprocal of electrical conductivity, and a measure of a material's resistance to the passage of electric current.

الممانعة (ρ): هو معكوس الموصلية الكهربائية ، وهي مقياس لمقاومة المادة لمرور التيار الكهربائي

Electrical Conductivity:

The proportionality constant between current density and applied electric field ; also a measure of the ease with which a material is capable of conducting an electric current . It is simply the reciprocal of the resistivity, or:

التوصيل الكهربائي: هو التناسب الثابت بين كثافة التياروالمجال الكهربائي التطبيقي ؛ وأيضا تقيس قابلية الماده على امرار تيار كهربائي من خلالها وهي تكون مقلوب الممانعة.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

It's units are reciprocal ohm-meters $[(\Omega\text{-m})^{-1}]$.
Ohm's law, also, may be expressed as:

$$J = 6\,\xi$$

in which J is the current density, the current per unit of specimen area I/A, and ξis the electric field intensity, or the voltage difference between two points divided by the distance separating them, that is:

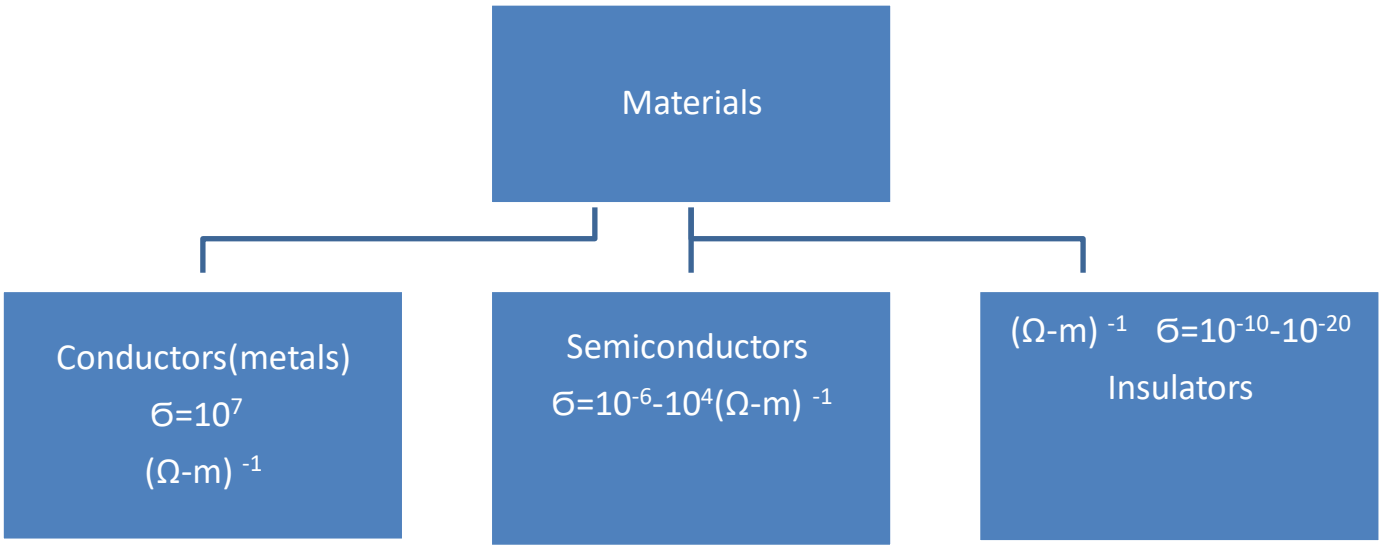
كما يمكن التعبير عن قانون أوم على النحو التالي: $J = 6\,\xi$

حيث J هي كثافة التيار ، التيار لكل وحدة من منطقة العينة I / A ، و ξ هي كثافة المجال الكهربائي ، أو فرق الجهد بين نقطتين مفصولتين بمسافة معينة ، وهي:

$$\xi = \frac{V}{I}$$

Ohm's law: The applied voltage is equal to the product of the current and resistance; equivalently, the current density is equal to the product of the conductivity and electric field intensity

قانون أوم: يساوي الجهد الناتج من تطبيق تيار ومقاومة ؛ على نحو مكافئ ، فإن الكثافة التيار تساوي ناتج الموصلية وكثافة المجال الكهربائي.



Energy Band Structures in Solids:

When atoms come together to form a solid, their valence electrons interact with each other and with nuclei due to Coulomb forces.

تتجمع مجموعة من الذراة لتكون جسم صلب والذره الواحده تتكون من نواة وعدد من الاغلفة الالكترونيه وتكون الاغلفة مرتبطه مع النواة عن طريق قوة التجاذب .

As a result of these effects, the valence electrons of atoms form wide electron energy bands. The bands are separated by gaps, where electrons cannot exist .for materials that are insulators, the band gap is relatively wide, whereas for semiconductors it is narrow and the conductor materials has no gaps.

ونتيجة لهذا التجاذب فأن الكترونات التكافئ لذرات سوف تكون حزم طاقة الكترونية واسعة وتفصل بين هذة الحزم مساحات فارغة من الألكترونات تسمى الفجوات.

Electrons revolving around the nucleus are of two types:

1. Electrons connected to the nucleus and not involved in electrical conduction
2. Electrons are free and far from the nucleus and the strength of its connection to the nucleus is weak and participates in the process of electrical conduction.

الالكترونات التي تدور حول النواة تكون على نوعين:

1.الكترونات مرتبطة بالنواة ولا تشارك بعملية التوصيل الكهربائي

2 .الكترونات حره وبعيدة عن النواة وقوة ربطها بالنواة تكون ضعيفه وتشارك بعملية التوصيل الكهربائي.

The difference between semiconductors and insulators is that in semiconductors electrons can reach the conduction band at ordinary temperatures, where in insulators they cannot .

اشباه الموصلات لها قابلية على توصيل التيار الكهربائي في درجات الحرارة الأعتيادية بينما العوازل ليس لها تلك الخاصية.

In metals: The process of transmission of electrical energy within the metal material is carried out by the transmission of the free electron in the outer electronic envelope of the atom (far from the nucleus). This electron is stimulated until it is transferred from one atom to another by shedding electrical energy from an external source. Atom to another atom and in a specific and regular direction, and the group of these regular electrons form the electricity current. In metals, any value from the external energy will stimulate the electrons and the electric energy is transmitted easily because there are no gaps between the atoms, which are atoms interconnected.

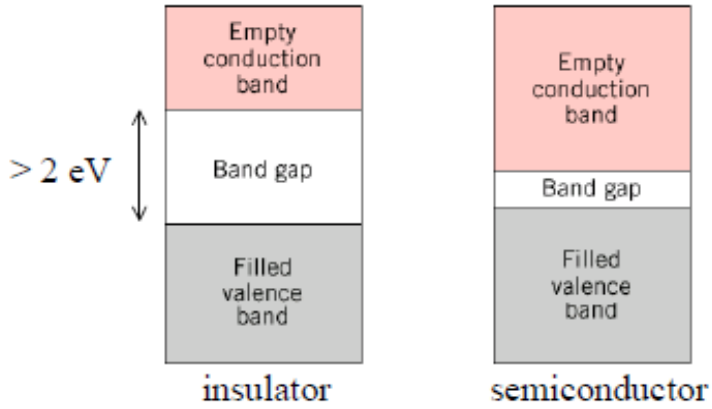
عملية انتقال الطاقة الكهربائيه داخل المادة المعدنية تتم عن طريق انتقال الالكترون الحرالموجود في الغلاف الالكتروني الخارجي للذرة (البعيد عن النواة) ويتم تحفيز هذا الالكترون حتى يتم انتقاله من ذره الى اخرى عن طريق تسليط طاقة كهربائيه من مصدر خارجي.وعند تحفيز هذا الالكترون سوف ينتقل من ذرة الى ذرة اخرى وبأتجاة محدد ومنتظم ومجموعة هذه الالكترونات المنتظمة تشكل التيار الكهربائي .في المعادن اي قيمة من الطاقة الخارجية المسلطه سوف تحفز الالكترونات ويتم انتقال الطاقة الكهربائيه بسهولة بسبب عدم وجود فجوات بين الذرات اي تكون الذرات متداخله فيما بينها.

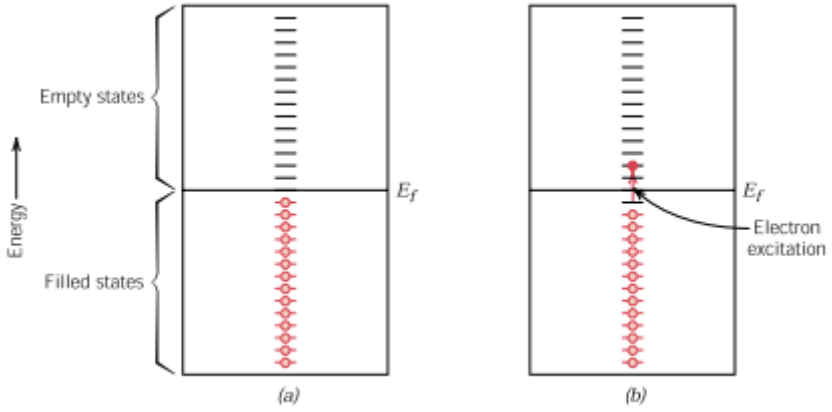
The semiconductor materials :are composed of atoms that separate these atoms. These gaps are electrons free. When the electron moves from one atom to another, it will need energy so that it can cross the gap to reach the other atom. The external energy must be equal to the gap so that the electron Of the transition of these materials need high power. Possible that the electrons move in the semi-conductor materials at temperatures normal.

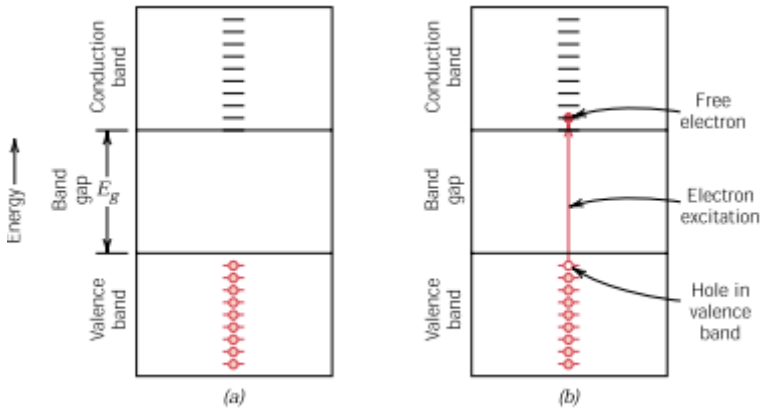
تتكون المواد الشبه الموصله من ذرات تفصل بين هذه الذرات فجوات وهذه الفجوات هي مناطق خاليه من الالكترونات فعند انتقال الالكترون من ذره الى اخرى سوف يحتاج الى طاقة حتى يستطيع عبور الفجوة للوصول الى الذره الاخرى .يجب ان تكون الطاقة المسلطه الخارجيه مساوية الى مقدار الفجوةحتى يتمكن الالكترون من الانتقال لذلك هذه المواد تحتاج الى طاقة مسلطه عالية .المواد الشبه الموصله في درجات الحرارة الاعتيادية ممكن ان تنتقل الالكترونات من ذره الى اخرى.

The insulating material :consists of a group of atoms separated by wide gaps, so the electron needs a high energy to move from one atom to another. Insulators can not transfer electrical energy at normal temperatures.

تتكون الماده العازله من مجموعه من الذرات التي تفصل بينها الفجوات الواسعه لذلك يحتاج الالكترون الى طاقه عاليه حتى ينتقل من ذره الى اخرى .ولا تستطيع المواد العازله نقل الطاقه الكهربائيه بدرجات الحراره الاعتيادية.







Charge Carriers:

Free electron: An electron that has been excited into an energy state above the Fermi energy (or into the conduction band for semiconductors and insulators) and may participate in the electrical conduction process.

الإلكترون الحر: هو إلكترون الذي يمتلك طاقة عاليه اعلى من طاقة فيري (او يكون في حزمة التوصيل للمواد العازله والشبه الموصله)ويشترك بعملية التوصيل الكهربائي.

Hole: For semiconductors and insulators, a vacant electron state in the valence band that behaves as a positive charge carrier in an electric field.

Holes have energies less than E_f and also participate in electronic conduction.
A hole is considered to have a charge that is of the same magnitude as that for an electron, but of opposite sign ($+1.6x10^{-19}C$)

الفجوه: لأشباه الموصلات والعوازل ، وهو الفراغ الذي يتركه الالكترون عند انتقاله من حزمة التكافئ الى حزم التوصيل الذي يتصرف كحامل شحنه موجب في المجال الكهربائي.
تمتلك الفجوات طاقات أقل من EF وتشارك أيضًا في التوصيل الإلكتروني.
تمتلك الفجوه قيمه نفس قيمة الالكترون ولكن بعكس الاشاره.

Electron Mobility

When an electric field is applied, a force is brought to bear on the free electrons .
All the free electrons experience an acceleration in a direction opposite to that of the electric field.

عندما يتم تطبيق المجال الكهربائي سوف تضهر قوة على الالكترونات الحرة.
كل الإلكترونات الحرة سوف تسير بأتجاه معاكس لأتجاه المجال الكهربائي .

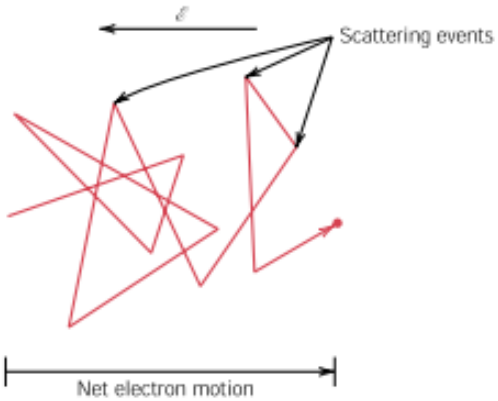
Indeed, a current reaches a constant value the instant that a field is applied, because of the ‘‘frictional forces’’ which counter this acceleration from the external field.

These frictional forces result from the scattering of electrons by imperfections (impurity atoms, vacancies, interstitial atoms, dislocations, and thermal vibrations of the atoms themselves). Each scattering event causes an electron to:

1- Lose kinetic energy
2- Change its direction of motion

في الواقع ، يصل التيار إلى قيمة ثابتة لحظة تطبيق المجال ، بسبب "قوى الاحتكاك" التي تتعارض مع هذا التسارع من المجال الخارجي.
هذه القوى الاحتكاكية ناتجة عن تشتت الإلكترونات الغير مطلوب (ذرات الشوائب ، الفجوات ، التداخل الذري ، الاضطرابات ، والذبذبات الحرارية للذرات نفسها). كل حدث تبعثر يتسبب في إلكترون إلى:

1- فقدان الطاقة الحركية
2- تغير اتجاه حركتها



Several parameters are used to describe the extent of the scattering phenomenon , these include:

1- The drift velocity

2-The mobility of an electron.

نستخدم العديد من العوامل لوصف مدى انتشار الظاهرة ، وتشمل هذه:

1- سرعة الانجراف

2-حركة الإلكترون.

Drift Velocity (V_d): represents the average electron velocity in the direction of the force imposed by the applied field.

It is directly proportional to the electric field as follows:

$$V_d = \mu_e \xi$$

μ_e : electron mobility, indicates of the frequency of scattering events; its units (m^2 /V-s)

The conductivity(σ) of most materials may be expressed as:

$\sigma = nlel\ \mu_e$

Where:

n: Number of free or conducting electrons per unit volume.

lel : Absolute magnitude of the electrical charge on an electron ($1.6x10^{-19}C$).

Thus, the electrical conductivity is proportional to both, the number of free electrons and the electron mobility.

سرعة الانجراف (Vd): تمثل معدل سرعة الإلكترون في اتجاه القوة المفروضة عند تطبيق المجال الكهربائي.

يتناسب طرديا مع المجال الكهربائي كما يلي:

μ_e: حركة الإلكترون ، تشير إلى تكرار التبعثر .

يمكن التعبير عن الموصلية (σ) لمعظم المواد على النحو التالي:

حيث:

n: عدد الإلكترونات الحرة أو الموصلة لكل وحدة حجم.

lel: مقدار المطلق من الشحنة الكهربائية للإلكترون.

وبالتالي ، فإن الموصلية الكهربائية تتناسب مع كل من عدد الإلكترونات الحرة وحركية الإلكترون.

Electrical Resistivity of Metals:

Since crystalline defects serve as scattering centers for conduction electrons in metals, increasing their number raises the resistivity (or lowers the conductivity).

The concentration of these imperfections depends on temperature and composition.

المقاومة الكهربائية للمعادن:

بما أن العيوب البلورية تعمل كمراكز تبعثر للإلكترونات الموصلة في المعادن ، فإن زيادة عددها يزيد من المقاومة (أو يقلل من الموصلية).

يعتمد تركيز هذه العيوب على درجة الحرارة و التركيب)

$$\rho_{total} = \rho_t + \rho_i + \rho_d$$

Where :ρ_t ,ρ_i , and ρ_d represent the individual thermal, impurity, and deformation resistivity contributions, respectively.

حيث:ρ_i, ρ_t و ρd تمثل الممانعة الحرارية ، الشوائب ، والتشوه ، على التوالي.