

**University of Anbar**  
**College of Science**  
**Department of Physics**



# فيزياء الحالة الصلبة **Solid State Physics**

المرحلة الرابعة  
الكورس الثاني  
صلبة 2

الدكتور قيس عبدالله عباس

## Lecture6

### **1. Semiconductors Crystals:**

Semiconductors are generally classified by their electrical resistivity at room temperature, with values in the range of  $10^{-2}$  to  $10^9$  ohm-cm, and strongly dependent on temperature. At absolute zero a pure, perfect crystal of most semiconductor will be an insulator.

تصنف أشباه الموصلات بشكل عام من خلال مقاومتها الكهربائية في درجة حرارة الغرفة ، بقيم تتراوح في مدى  $10^{-2}$  الى  $10^9$  أوم - سنتيمتر ، وتعتمد بشدة على درجة الحرارة. عند الصفر المطلق ، للبلورة النقية والكاملة لمعظم أشباه الموصلات ستكون عازلاً.

Devices based on semiconductors include transistors, switches, diodes, photovoltaic cells, detectors, and thermistors. These may be used as single circuit elements or as components of integrated circuits.

تشمل الأجهزة القائمة على أشباه الموصلات الترانزستورات والمفاتيح والتثنائيات والخلايا الكهروضوئية والكاشفات والثرمستورات. يمكن استخدامها كعناصر دائرة مفردة أو كمكونات للدوائر المتكاملة.

A highly purified semiconductor exhibits intrinsic conductivity, as distinguished from the impurity conductivity of less pure specimens. In the intrinsic temperature range the electrical properties of a semiconductor are not essentially modified by impurities in the crystal.

يظهر أشباه الموصلات عالية النقاء الموصلية الذاتية ، كما تتميز عن الموصلية النقية للعينات الأقل نقاء. في نطاق درجة الحرارة الجوهرية ، يتم تعديل الخصائص الكهربائية لأشباه الموصلات بشكل أساسي عن طريق الشوائب في البلورة.

The conduction band is empty at absolute zero and is separated by an energy gap  $E_g$  from the filled valence band.

يكون نطاق التوصيل فارغا عند الصفر المطلق ويفصل بفجوة الطاقة عن نطاق التكافؤ الممتلئ.

The **energy gap** is the difference in energy between the lowest point of the **conduction band** and the highest point of the **valence band**. The lowest point in the conduction band is called the **conduction band edge**; the highest point in the valence band is called the **valence band edge**.

فجوة الطاقة هي الفرق في الطاقة بين أدنى نقطة في حزمة التوصيل وأعلى نقطة في حزمة التكافؤ. تسمى أقل نقطة في حزمة التوصيل حافة حزمة التوصيل و أعلى نقطة في حزمة التكافؤ تسمى حافة حزمة التكافؤ.

As the temperature is increased, electrons are thermally excited from the valence band to the conduction band. Both the electrons in the conduction band and the unoccupied orbitals or holes left behind in the valence band contribute to the electrical conductivity.

بزيادة درجة الحرارة ، يتم تحفيز الإلكترونات حراريًا من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل. تساهم الإلكترونات الموجودة في نطاق التوصيل والمدارات أو الثقوب الشاغرة التي تُركت في نطاق التكافؤ في التوصيل الكهربائي.

### 6.1 Band gap: فجوة الحزمة

The intrinsic conductivity and intrinsic carrier concentrations are largely controlled by , the ratio of the band gap to the temperature. When this ratio is large, the concentration of intrinsic carriers will be low, and the conductivity will be low.

يتم التحكم في الموصلية الجوهرية وتراكيز الحاملات الجوهرية إلى حد كبير من خلال نسبة فجوة النطاق إلى درجة الحرارة. عندما تكون هذه النسبة كبيرة ، سيكون تركيز الناقلات الجوهرية منخفضًا ، وستكون الموصلية منخفضة..

In a **direct absorption process** the threshold of continuous optical absorption at frequency  $\omega_g$  measures the band gap  $E_g = \hbar\omega_g$  as shown in Figs. 1a and 2a. A photon is absorbed by the crystal with the creation of an electron and a hole.

في عملية الامتصاص المباشر (direct absorption process) ان عتبة الامتصاص البصري المستمر عند التردد  $\omega_g$  يقيس فجوة الحزمة  $E_g = \hbar\omega_g$  وكما مبين بالشكل a1 و a2 . يمتص الفوتون بواسطة البلورة مع انشاء الكترون وثقب (فجوة).

In the **indirect absorption process** in Figs. 1b and 2b the minimum energy gap of the band structure involves electrons and holes separated by a substantial wavevector  $k_c$ . Here a direct photon transition at the energy of the minimum gap cannot satisfy the requirement of conservation of wavevector, because photon wavevectors are negligible at the energy range of interest.

في عملية الامتصاص الغير المباشر (indirect absorption process) كما في الاشكال 2b1 , b ان اقل فجوة طاقة لتركيب الحزمة تتضمن الكترونات وفجوات مفصولة بمتجه موجي اساسي  $k_c$  . هنا لا يمكن أن يفي انتقال الفوتون المباشر عند طاقة الفجوة الدنيا بمتطلبات الحفاظ على متجه الموجة ، لأن متجهات الموجة للفوتون لا تكاد تذكر في نطاق الطاقة المعني.

But if a phonon of wavevector  $K$  and frequency  $\Omega$  is created in the process, then we can have

لكن اذا كان لدينا فونون يمتلك متجه موجي  $k$  وتردد  $\Omega$  مختلق اثناء العملية فسوف نحصل على :

$$k(\text{photon}) = k_c + K = 0 ; \hbar\omega = E_g + \hbar\Omega$$

The phonon energy  $\hbar\Omega$  will generally be much less than  $E_g$

ان طاقة الفونون  $\hbar\Omega$  سوف تكون على العموم اقل من  $E_g$

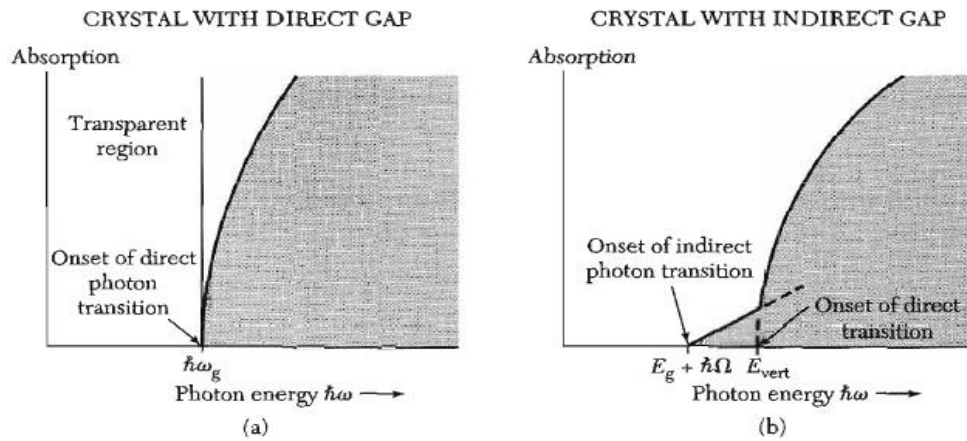


Figure 1

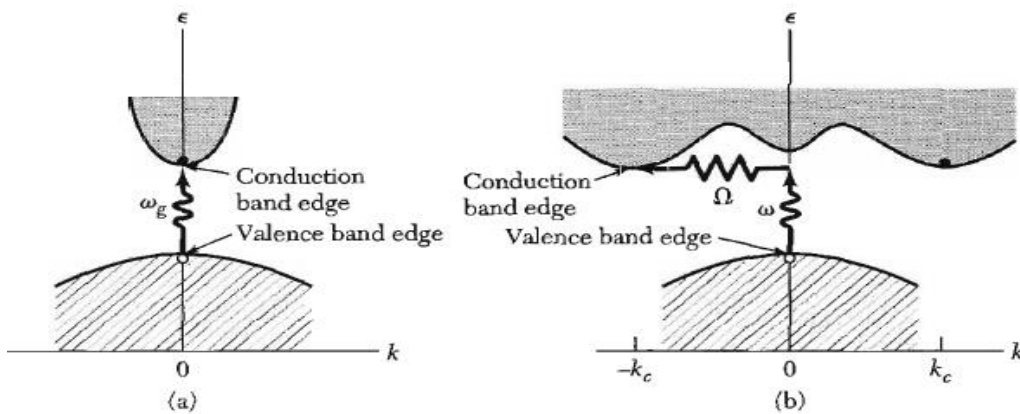


Figure 2

## 6.2 Intrinsic Semiconductors اشباه الموصلات الاساسية

A highly purified semiconductor exhibits intrinsic conductivity, as distinguished from the impurity conductivity of less pure specimens.

يظهر أشباه الموصلات عالية النقاء الموصلية الذاتية ، كما تتميز عن الموصلية غير النقية للعينات الأقل نقاء.

Intrinsic semiconducting behaviour occurs in an insulating solid when  $k_0T$  is large enough to permit some thermal excitation of electrons from the upper part of an

otherwise filled band to the lower portion of the next higher (normally empty) band.

يحدث السلوك شبه الموصل الجوهري في مادة صلبة عازلة عندما يكون  $k_0T$  كبيراً بما يكفي للسماح ببعض الإثارة الحرارية للإلكترونات من الجزء العلوي من نطاق مملوء بطريقة ما إلى الجزء السفلي من النطاق الأعلى (الفارغ عادة).

The number of conduction band electrons and valence band holes as follows:

$n_0$  = density of conduction band electrons for a situation of thermodynamic equilibrium.

$n$  = total density of conduction band electrons (not necessarily at equilibrium).

$n_e = (n - n_0)$  = excess electron density in the conduction band caused by a departure from equilibrium.

$p_0$  = density of valence band holes in thermodynamic equilibrium,

$p$  = total density of valence band holes.

$p_e = (p - p_0)$  = excess free hole density caused by a departure from equilibrium

عدد إلكترونات نطاق التوصيل وثقوب نطاق التكافؤ تكون على النحو التالي:

$(n_0)$  = تمثل كثافة إلكترونات نطاق التوصيل في حالة التوازن الديناميكي الحراري

$(n)$  = تمثل الكثافة الإجمالية للإلكترونات نطاق التوصيل (ليس بالضرورة عند التوازن).

$(n_e) = (n - n_0)$  تمثل كثافة الإلكترون الزائدة في نطاق التوصيل الناجم عن الخروج من التوازن.

$(p_0)$  = تمثل كثافة ثقوب نطاق التكافؤ في التوازن الديناميكي الحراري.

$(p)$  = تمثل كثافة الثقوب الكلية في نطاق التكافؤ.

$(p_e) = (p - p_0)$  تمثل زيادة كثافة الثقب الحر بسبب الانحراف عن التوازن.

If a semiconductor is completely pure and crystallographically perfect, the densities  $n_0$  and  $p_0$  must be equal, for conduction band electrons can then be derived only by excitation of valence band states

إذا كانت مادة شبه الموصل نقية تمامًا ومثالية بلوريًا ، فيجب أن تكون الكثافات  $n_0$  و  $p_0$  متساوية ، لأن إلكترونات نطاق التوصيل لا يمكن إنتاجها إلا من خلال إثارة حالات نطاق التكافؤ.

$n_i$  is the intrinsic electron-hole density. A single Fermi level characterizes the energy distribution of both the free holes and the free electrons, and this intrinsic Fermi level is close to the center of the intrinsic gap,

$n_i$  تمثل كثافة الفجوة-الإلكترون الجوهرية. يميز مستوى فيرمي Fermi level توزيع الطاقة لكل من الثقوب الحرة والإلكترونات الحرة ، وهذا المستوى فرمي الاساسي يكون قريب من مركز الفجوة الاساسية.

The semiconductors are defined as insulators with small forbidden gaps. At finite temperature some electrons are excited from the lower valence band to the upper, conduction one. So there are holes in the valence band and the electrons in the conduction one. Such semiconductor is called intrinsic.

تُعرف أشباه الموصلات بأنها عوازل ذات فجوات صغيرة ممنوعة. عند درجة حرارة معينة ، يتم تحريك بعض الإلكترونات من نطاق التكافؤ السفلي إلى الأعلى ، التوصيل. لذلك هناك ثقوب في نطاق التكافؤ والإلكترونات في التوصيل. يسمى هذا أشباه الموصلات الاساسي .

### 6.3 For electron للالكترون

Number of electrons عدد الالكترونات  $n = \int_{E_c}^{\infty} f(E) \cdot g(E) dE$

$$n = \int_{E_c}^{\infty} \frac{1}{2\pi^2} \left( \frac{2m_e^*}{\hbar^2} \right)^{3/2} (E - E_g)^{1/2} \cdot \frac{1}{1 + e^{\frac{E - E_F}{kT}}} \cdot dE$$

$$n = 2 \left\{ \frac{2\pi m_e^* kT}{\hbar^2} \right\}^{3/2} e^{\frac{E_F - E_c}{kT}}$$

$$N_c = 2 \left\{ \frac{2\pi m_e^* kT}{h^2} \right\}^{3/2}$$

Effective density of conduction band states

الكثافة الفعالة لحالة نطاق التوصيل

$$n = N_c e^{\frac{E_F - E_c}{kT}}$$

For hole

$$N_v = 2 \left\{ \frac{2\pi m_h^* kT}{h^2} \right\}^{3/2}$$

Effective density of valence band states

الكثافة الفعالة لحالة نطاق التكافؤ

$$P = N_v e^{\frac{E_v - E_F}{kT}}$$



Normally electron excited from valence band leave hole.

عادتاً فان الالكترون المتهيج من حزمة التكافؤ يترك فجوة

In equilibrium  $n = P$  i.e. number of holes = number of electrons.

عند حالة التوازن فان  $n = P$  يعني ان عدد الفجوات يساوي عدد الالكترونات

$$n_i = \sqrt{np} \quad \text{effective mass law}$$

$$n_i = (N_c N_v)^{1/2} e^{\frac{E_v - E_c}{2kT}} = (N_c N_v)^{1/2} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

$$n_i = 2 \left( \frac{kT 2\pi}{h^2} \right)^{3/2} (m_e^* m_h^*)^{3/4} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

### 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