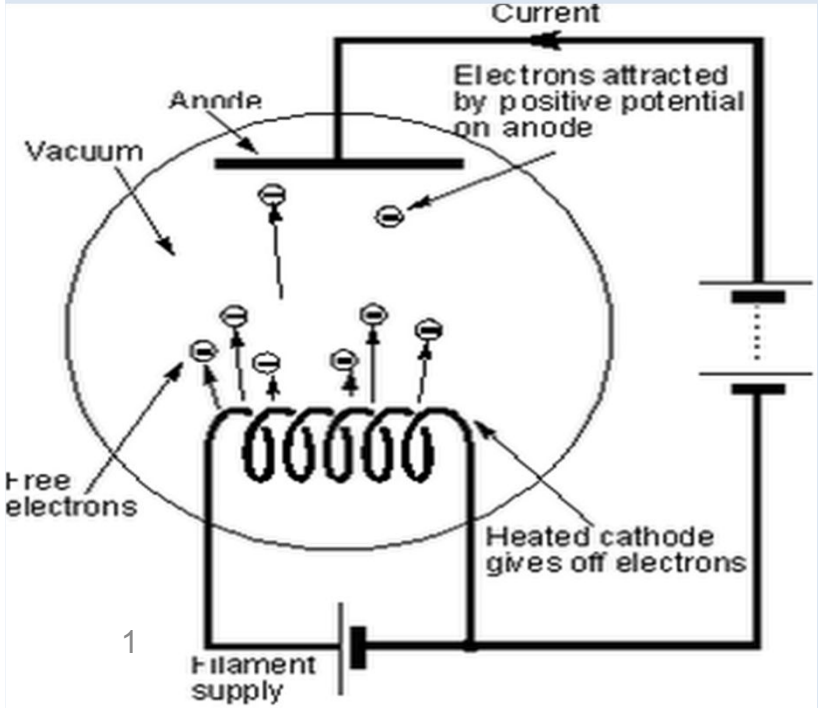
علم الالكترونيات Electronics

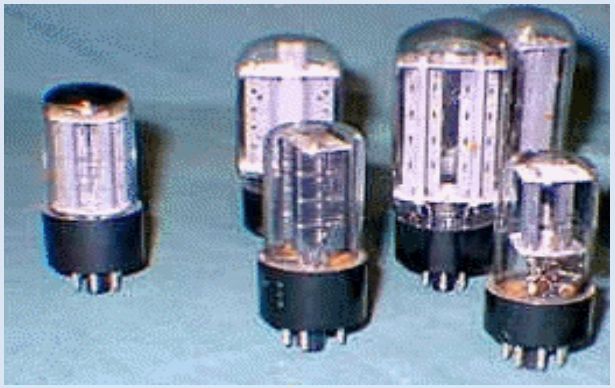
- ظهر علم الإلكترونيات في 1882م مع ظهور أثر أديسون Edison effect

ظهر تيار كهربائي من حركة سيل من الالكترونات في الفراغ بين الكاثود الساخن و الانود داخل الصمام المفرغ

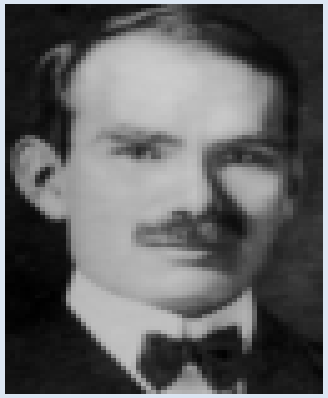


أطلق على هذا التيار الذي يسري خارج الموصل مسمى التيار الالكتروني تمييزاً له عن التيار الكهربائي الذي يسري داخل المادة الموصلة

علم الالكترونيات Electronics



عام 1904 م قدم فلمنغ Fleming أول معدل الكتروني (الدايود) أو ما يعرف بالصمام الثنائي



عام 1912م قدم فورست Forest الصمام الثلاثي الذي استخدم شبكة يمكنها التحكم في التيار،وجعل من الممكن صنع الراديو.

man changing one of 18,000 tubes

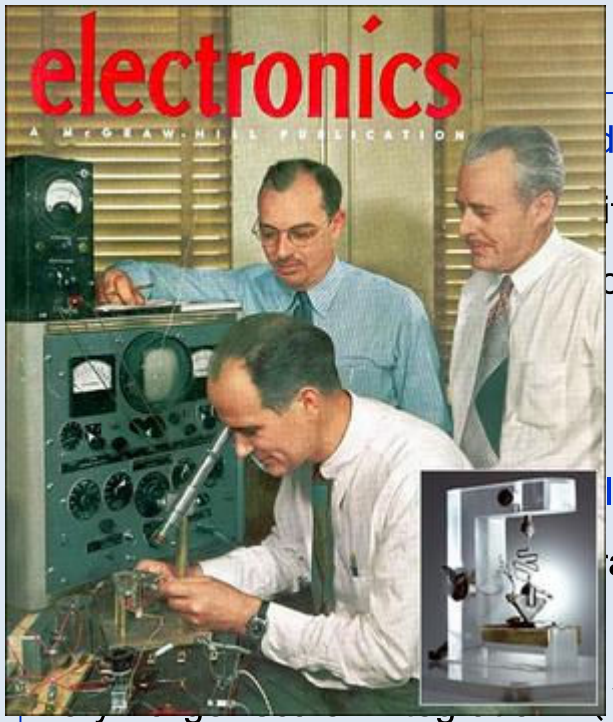
أصبحت الصمامات أساس لاختراع الأجهزة الالكترونية مثل التلفاز والراديو والتي كان حجمها كبير بسبب استخدام هذه الصمامات.

Semiconductors Electronic الكترونيات أشباه الموصلات

The goal of electronic materials is to generate and control the flow of an electrical current.

الهدف من المواد الاكترونية توليد تيار كهربائي متدفق و التحكم في.

عام 1948م تم تصنيع أول ترانزستور transistor من قبل العلماء الثلاثة.



"The first transistor ever assembled, invented in Bell Labs in 1947."

d circuit . A. Dummer, a

ith the out the 1950s,

ced on tal semiconductor

away diodes (active

resistor r chip. By 1961,

ll produ ns of equipment

al direc ar transistors and

made ation (LSI), and

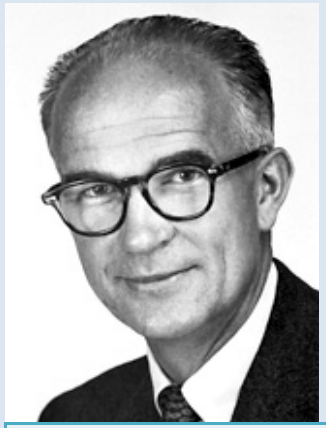
VLSI) ists of thousands

of circuits with on-and-off swit a single chip.

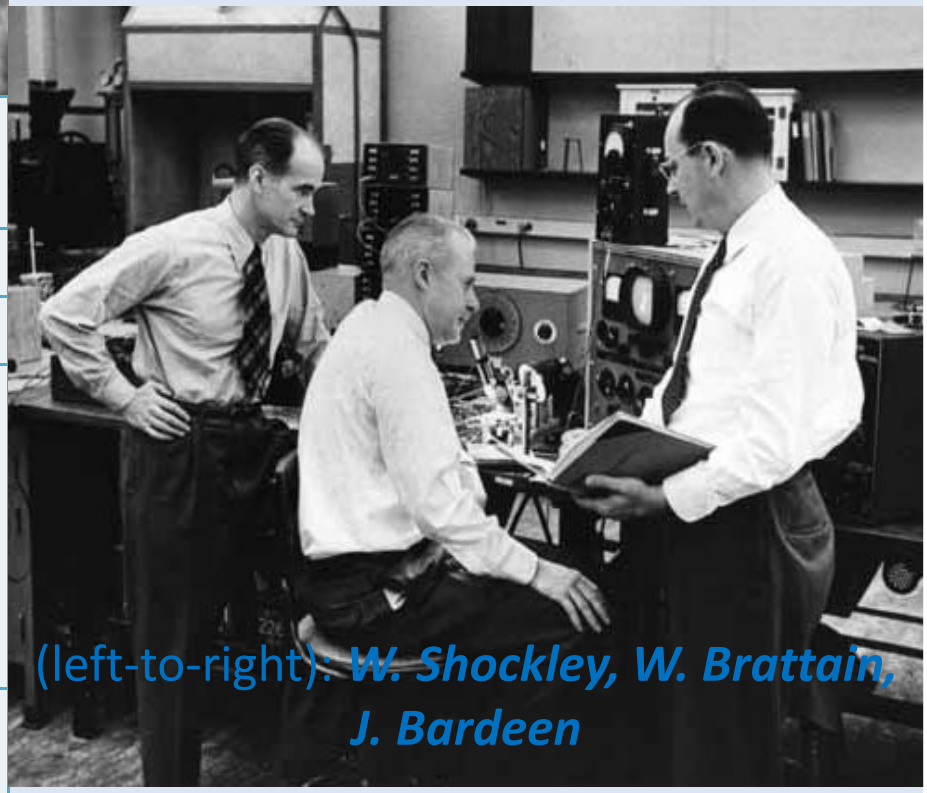
Microcomputers, medical equipment, atellites are only

grated circuits.

Semiconductors Electronic الكترونيات أشباه الموصلات



William Shockley	John Bardeen	Walter Houser Brattain
1/3 of the prize	1/3 of the prize	1/3 of the prize
USA	USA	USA
Semiconductor Laboratory of Beckman Instruments, Inc. Mountain View, CA, USA	University of Illinois Urbana, IL, USA	Bell Telephone Laboratories Murray Hill, NJ, USA
b. 1910 d. 1989	b. 1908 d. 1991	b. 1902 d. 1987



(left-to-right): ***W. Shockley, W. Brattain, J. Bardeen***

solids الجوامد (المواد الصلبة)

Insulators

Metals

Semiconductors

Superconductors

Technology of the 19th century

Technology of the 20th century

Technology of the 21st century?

Conduttori	$\rho < 10^{-5}\,\Omega\,m$		$(rame: 3\cdot10^{-8}\,\Omega\,m)$
Semiconduttori	$10^{-5} < \rho < 10^{3}\,\Omega\,m$		$(silicio: 2300\,\Omega\,m)$
Isolanti	$\rho > 10^{3}\,\Omega\,m$		$(diamante: 10^{14}\,\Omega\,m)$

	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA
		5 B Boro	6 C Carbonio	7 N Azoto	8 O Ossigeno
		13 Al Alluminio	14 Si Silicio	15 P Fosforo	16 S Zolfo
	30 Zn Zinco	31 Ga Gallio	32 Ge Germanio	33 As Arsenico	34 Se Selenio
	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Stagno	51 Sb Antimonio	52 Te Tellurio
	80 Hg Mercurio	81 Ti Titanio	82 Pb Piombo	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio

Atomic Theory النظرية الذرية

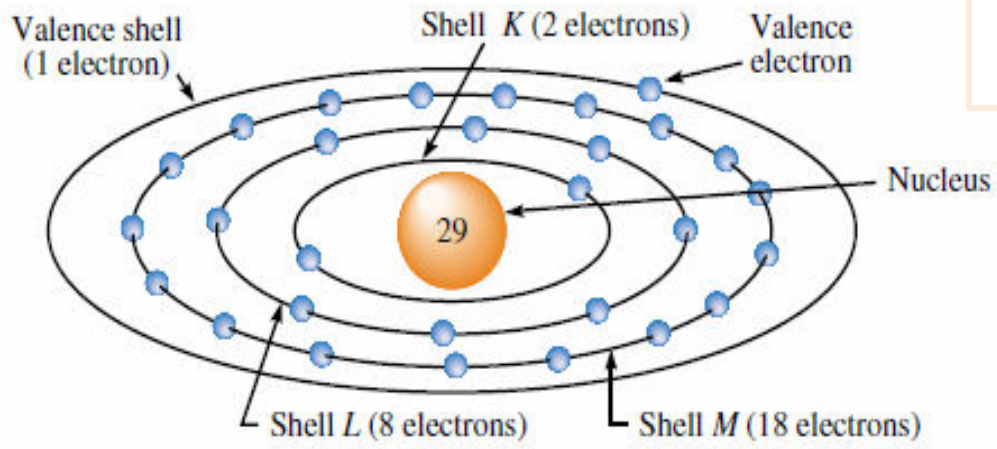


FIGURE 2–4 Copper atom. The valence electron is loosely bound.

الذرة متعادلة

عدد الكترونات التكافؤ للعنصر تحدد خصائصه الكهربية.

Shell	K	L		M			N			
Sub-shell/state	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f
Numbers of electrons	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14
Symbol	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$	$3s^2$	$3p^6$	$3d^{10}$	$4s^2$	$4p^6$	$4d^{10}$	$4f^{14}$
Total numbers of electrons in shell	2	8		18			32			

No element can have more than eight valence electrons; when a valence shell has eight electrons, it is filled.

الالكترونات الحرة Free Electrons

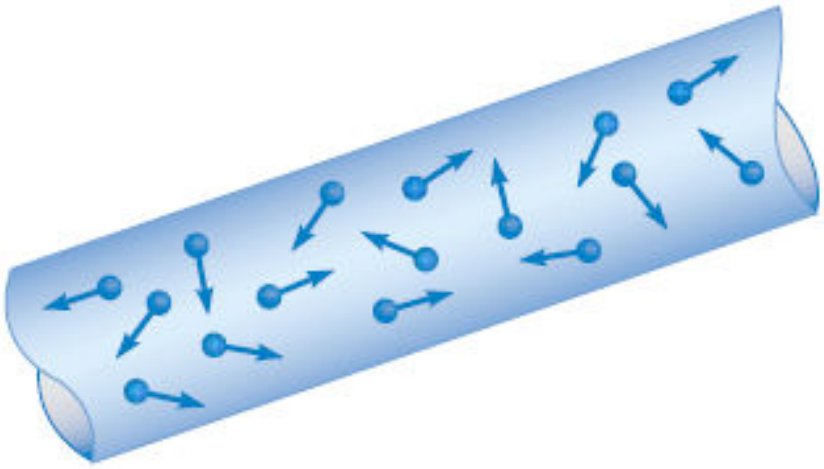


FIGURE 2–6 Random motion of free electrons in a conductor.

- كمية الطاقة اللازمة لهروب الالكترون من الذرة يعتمد على عدد الالكترونات في مستوى التكافؤ. كيف؟

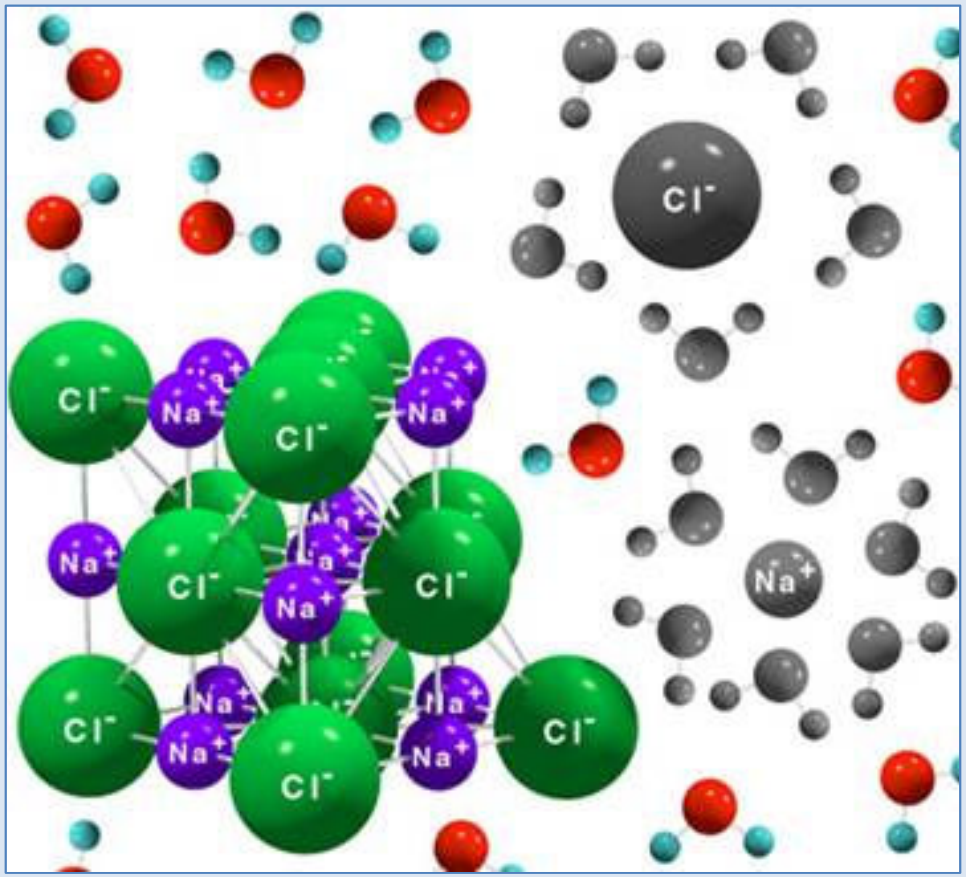
- الكترونات التكافؤ في النحاس تحصل على طاقة كافية من التسخين فقط أو عند درجة حرارة الغرفة لتهرب من ذرتها الأم و تتجول بين الذرات خلال المادة (بحيث تبقى المادة متعادلة) هذه الاكترونات تسمى الإلكترونات الحرة.

- في النحاس عدد الاكترونات الحرة 10^{23} /Cm^3 عند درجة حرارة الغرفة.

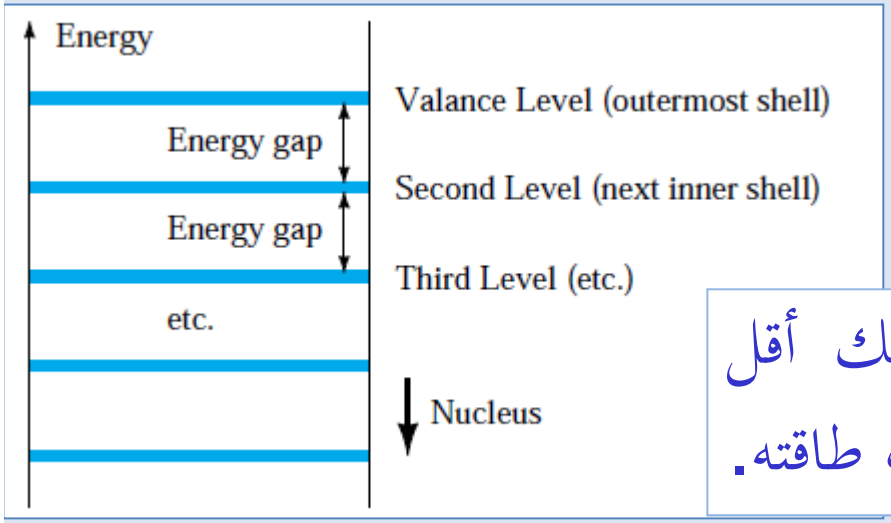
كيف يصنف من ناحية التوصيل الكهربي؟

الأيونات Ions

إذا فقدة الذرة المتعادلة أحد الكتروناتها فإنها تتحول إلى أيون موجب، و إذا اكتسبت الكترون فانها تصبح أيون سالب.



نطاقات الطاقة في المواد الصلبة Energy Bands in Solids



الالكترونات تدور حول النواة في مستويات محددة الطاقة.

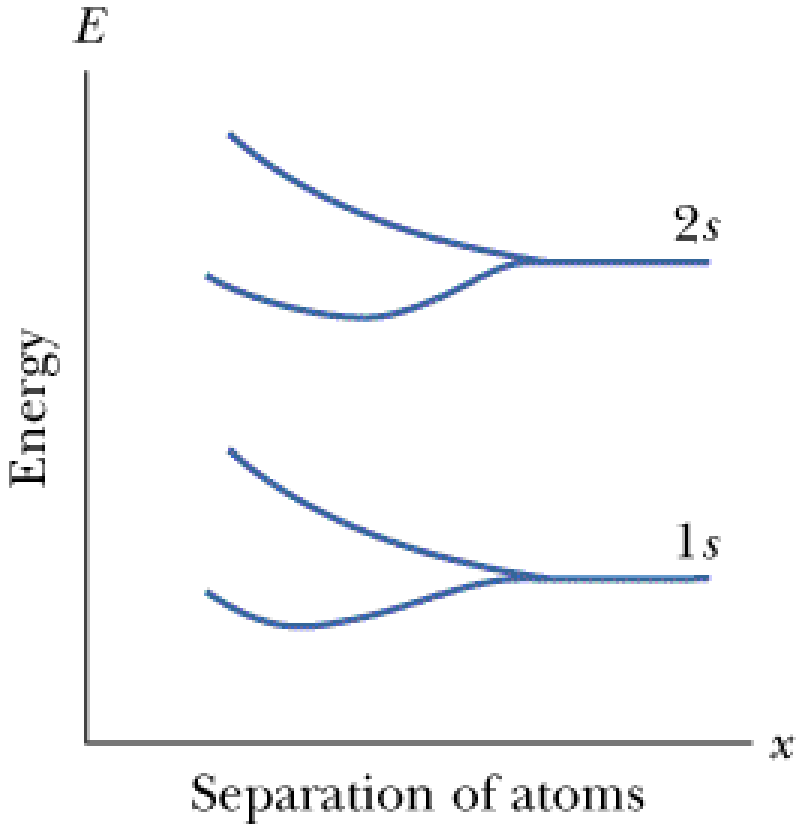
المستوى الأول للطاقة (الأقرب للنواة) يمتلك أقل طاقة وكلما زاد بعد المستوى عن النواة زادت طاقته.

نتيجة تجمع الذرات تتداخل مستويات طاقة كل ذرة مع الذرات الأخرى في البلورة وينتج عن ذلك حزم أو نطاقات أو أشرطة للطاقة.

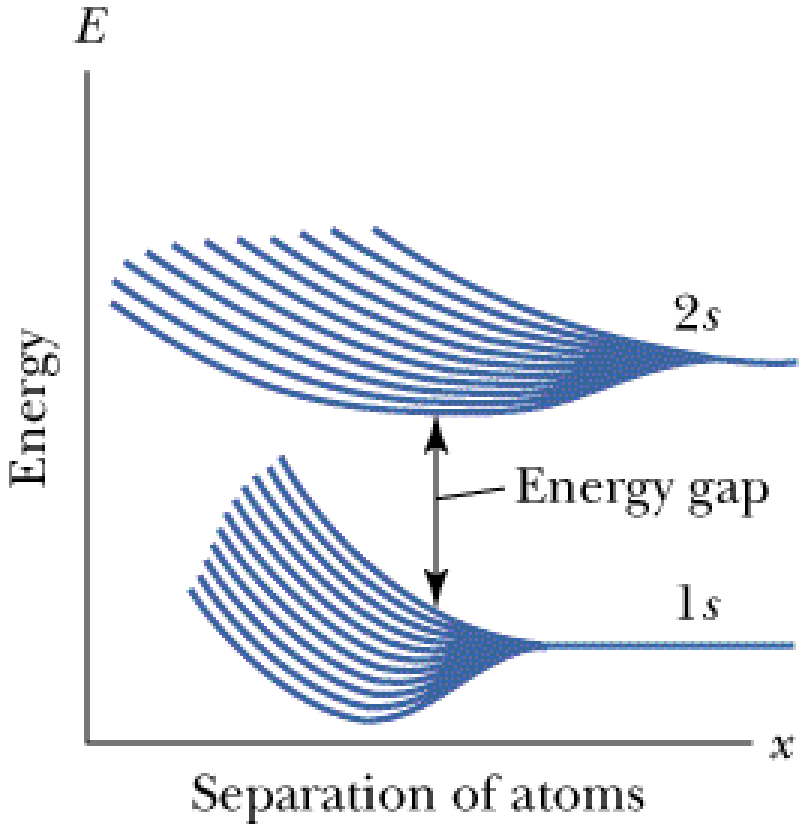
كل نطاق يحوى مجموعة من مستويات الطاقة المتقاربة التي تكون فروق الطاقة بينها صغيرة جدا.

يوجد بين نطاقات الطاقة فجوات لا يوجد بها مستويات طاقة أو الكترونات.

In a crystal, electrons in the same orbit do not have the same energy and thus form energy bands

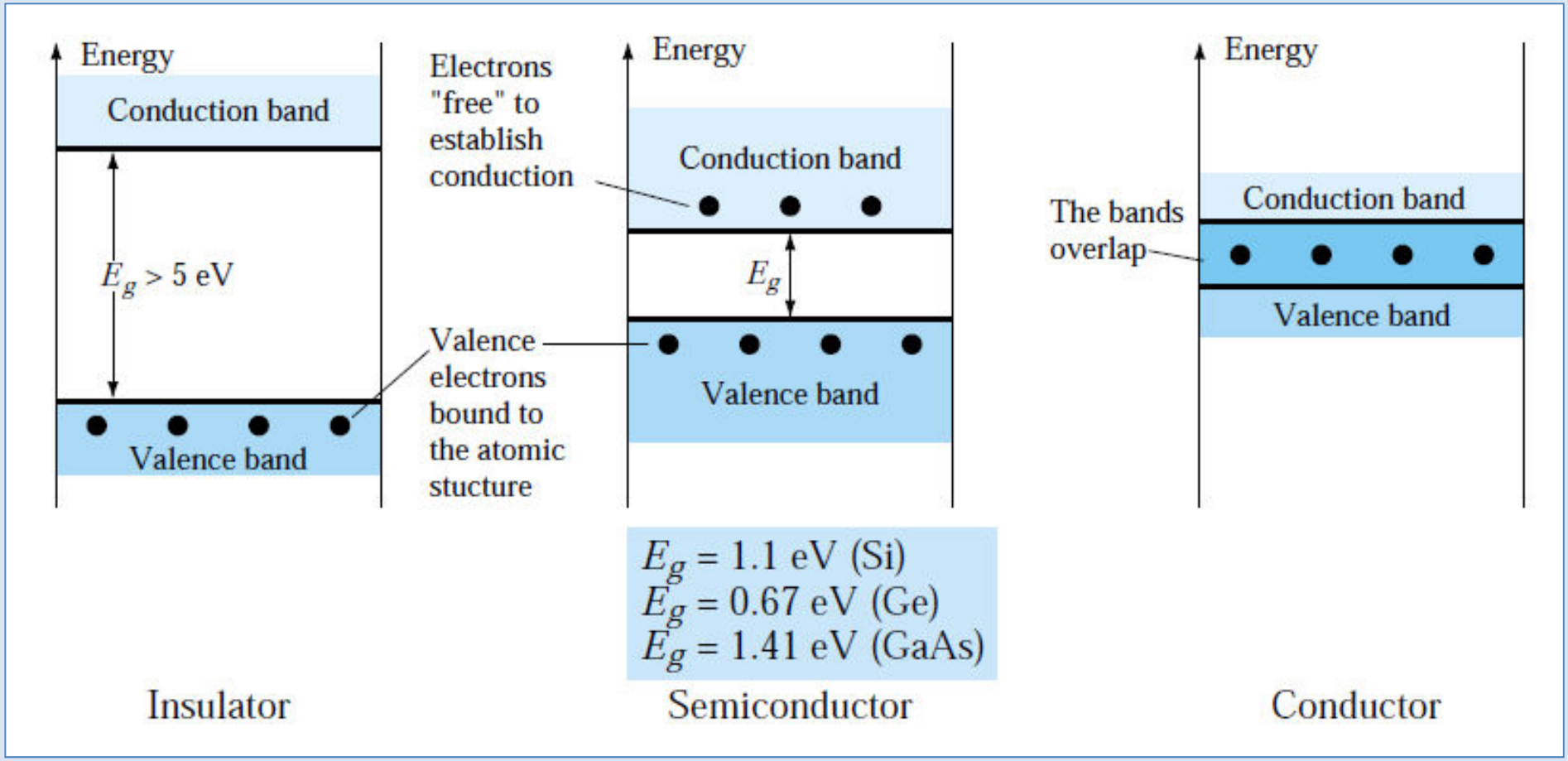


(a)



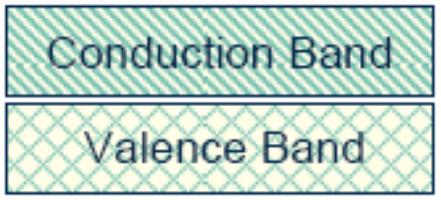
(b)

Band gap فجوة النطاق

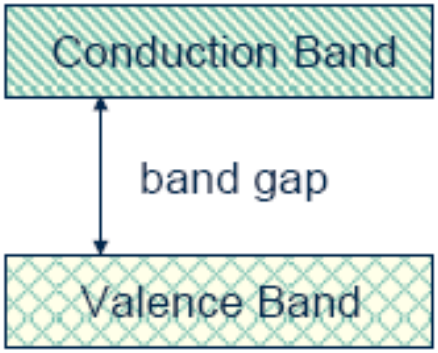


Band gap فجوة النطاق

- **Metal**
  - negligible band gap or overlap

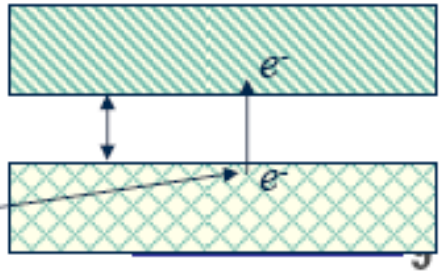


- **Insulator**
  - large band gap, ~ 8 eV

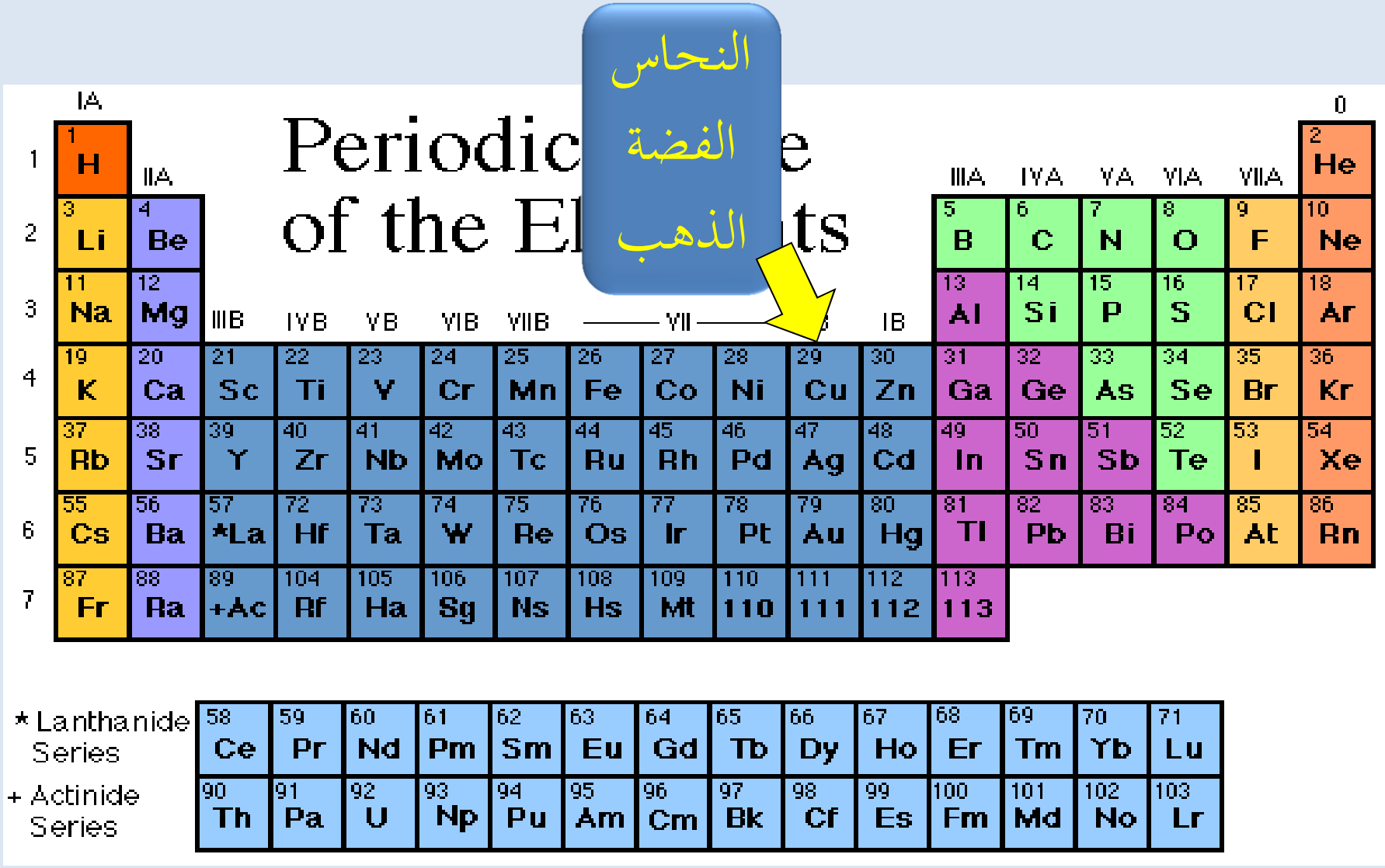


- **Semiconductor**
  - medium sized gap, ~ 1 eV

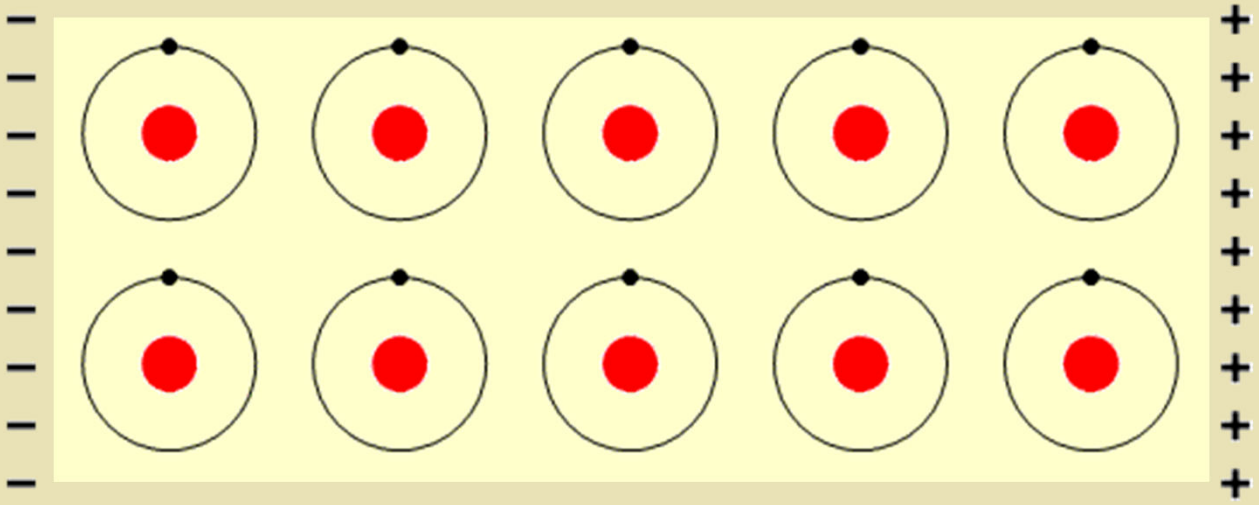
    Electrons can gain energy from lattice (phonon) or photon to become "free"



Conductors الموصلات



Conductors



Conductors have loosely bound electrons in their outer shell

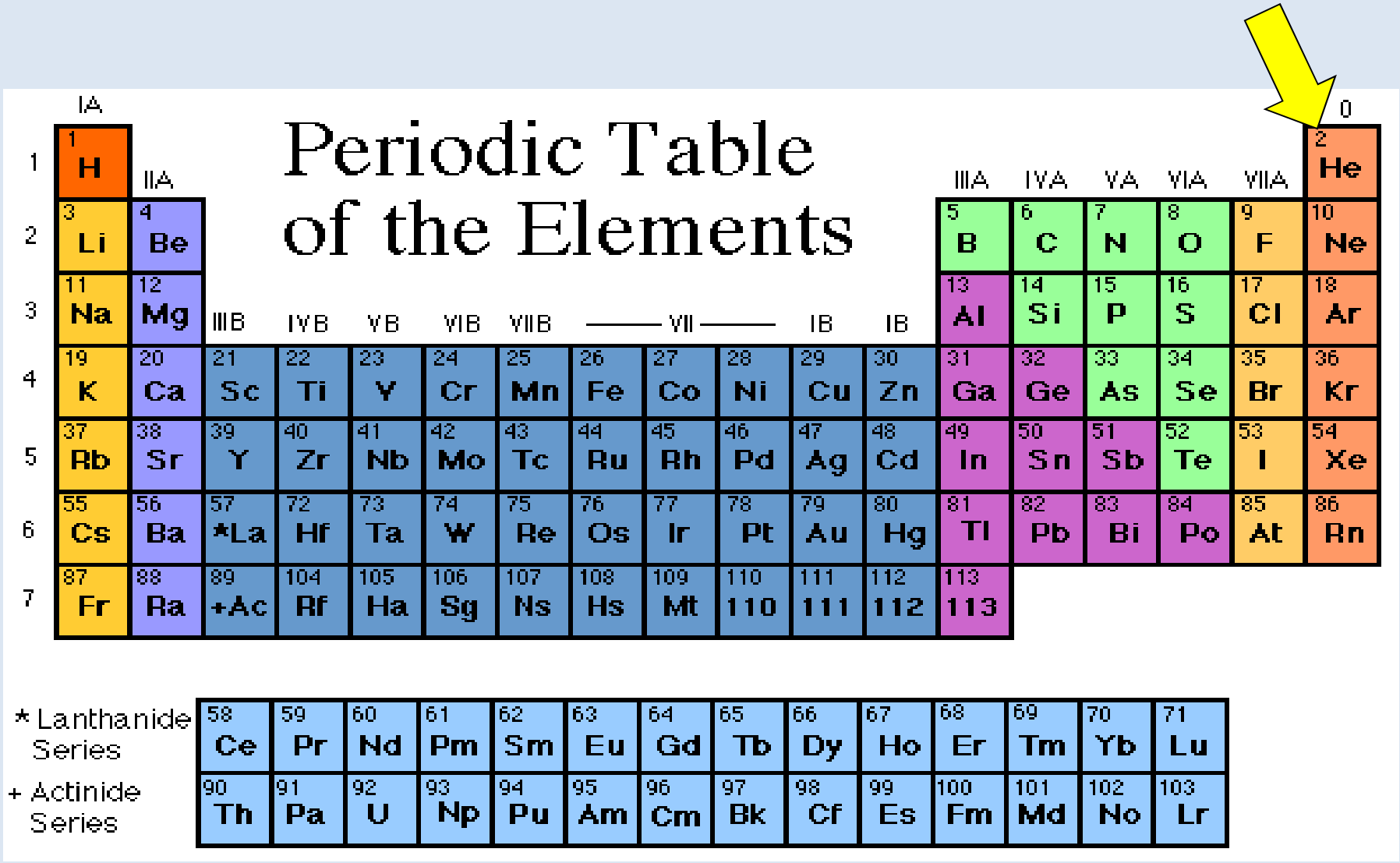
These electrons require a small amount of energy to free them for conduction

Let's apply a potential difference across the conductor above…

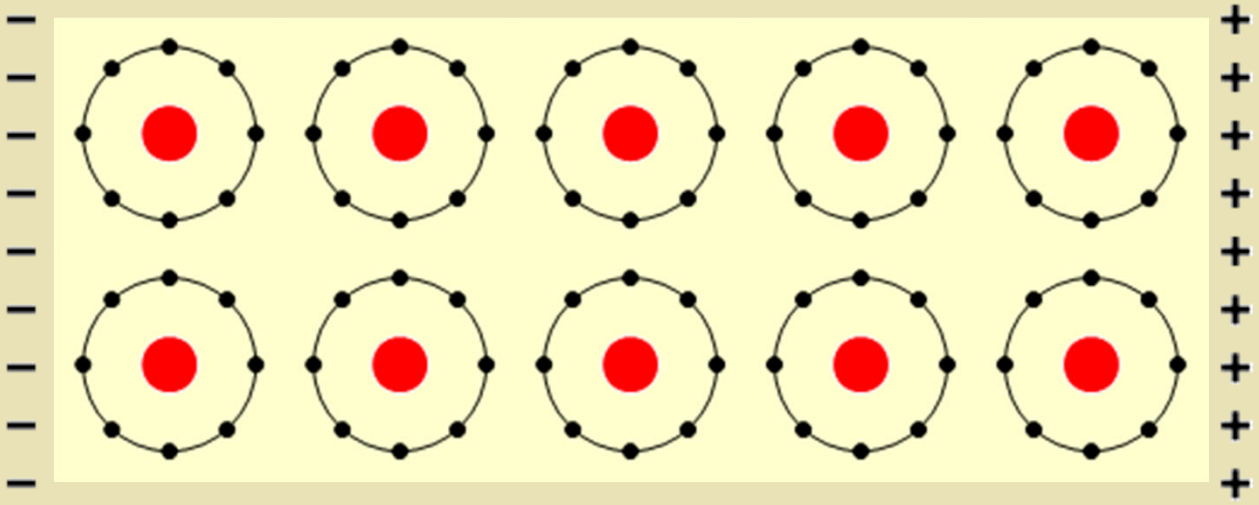
The force on each electron is enough to free it from its orbit and it can jump from atom to atom – the conductor conducts

Conductors are said to have a low resistivity / resistance

Insulators العوازل



Insulators



Insulators have tightly bound electrons in their outer shell

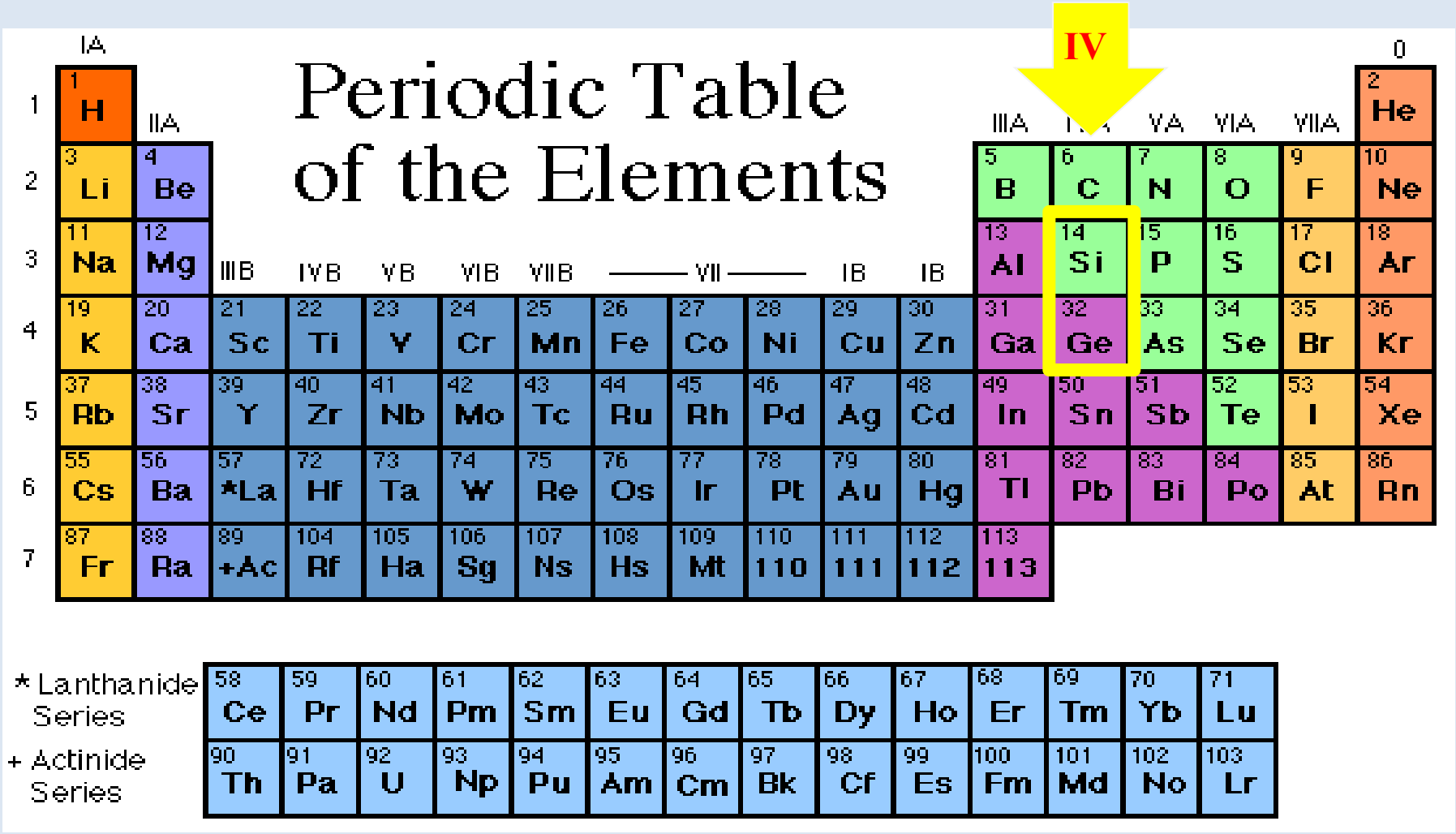
These electrons require a very large amount of energy to free them for conduction

Let's apply a potential difference across the insulator above…

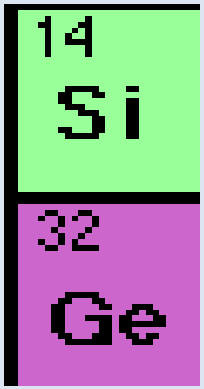
The force on each electron is not enough to free it from its orbit and the insulator does not conduct

Insulators are said to have a high resistivity / resistance

Semiconductors أشباه الموصلات



أشباه الموصلات Semiconductors



الجرمانيوم و السيليكون من أهم أشباه الموصلات المستخدمة في تصنيع العناصر الالكترونية

لكي تصل إلى الاستقرار لابد أن يكون في مدارها الأخير 8 الكترونات.

اكتبي التوزيع الالكتروني للسيليكون والجرمانيوم.

Shell	K	L		M			N			
Sub-shell/state	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f
Numbers of electrons	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14
Symbol	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$	$3s^2$	$3p^6$	$3d^{10}$	$4s^2$	$4p^6$	$4d^{10}$	$4f^{14}$
Total numbers of electrons in shell	2	8		18			32			

For certain shell, there are sub-shells named as s, p, d and f.

n	Shell / Sub-shell	s	p	d	f	
1	K	1s				2
2	L	2s	2p			8
3	M	3s	3p	3d		18
4	N	4s	4p	4d	4f	32
5	O	5s	5p	5d	5f	32
6	P	6s	6p	6d		18
7	Q	7s	7p			8

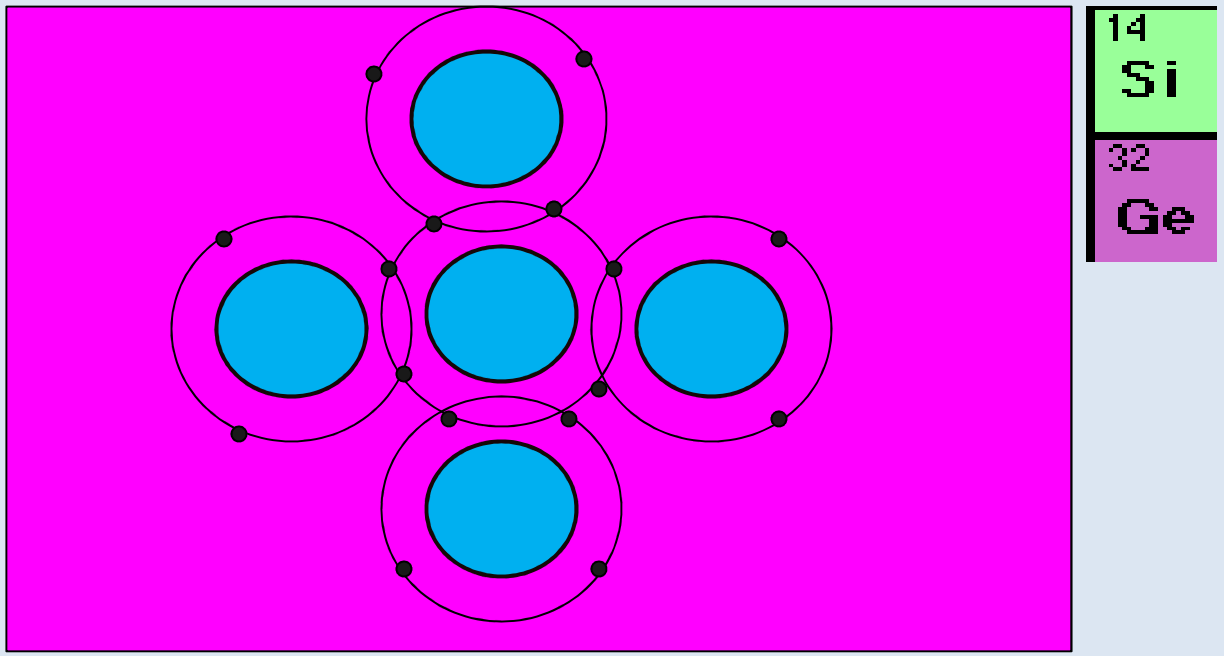
أشباه الموصلات Semiconductors

هي مواد تملك خواص كهربائية متوسطة بين الموصلات والعوازل.

أفضل أشباه الموصلات هي التي تملك أربع الكترونات تكافؤ في مدارها الأخير.

أشباه الموصلات النقية Intrinsic semiconductors

ترتبط كل ذرة مع أربع ذرات مجاورة بروابط تساهمية



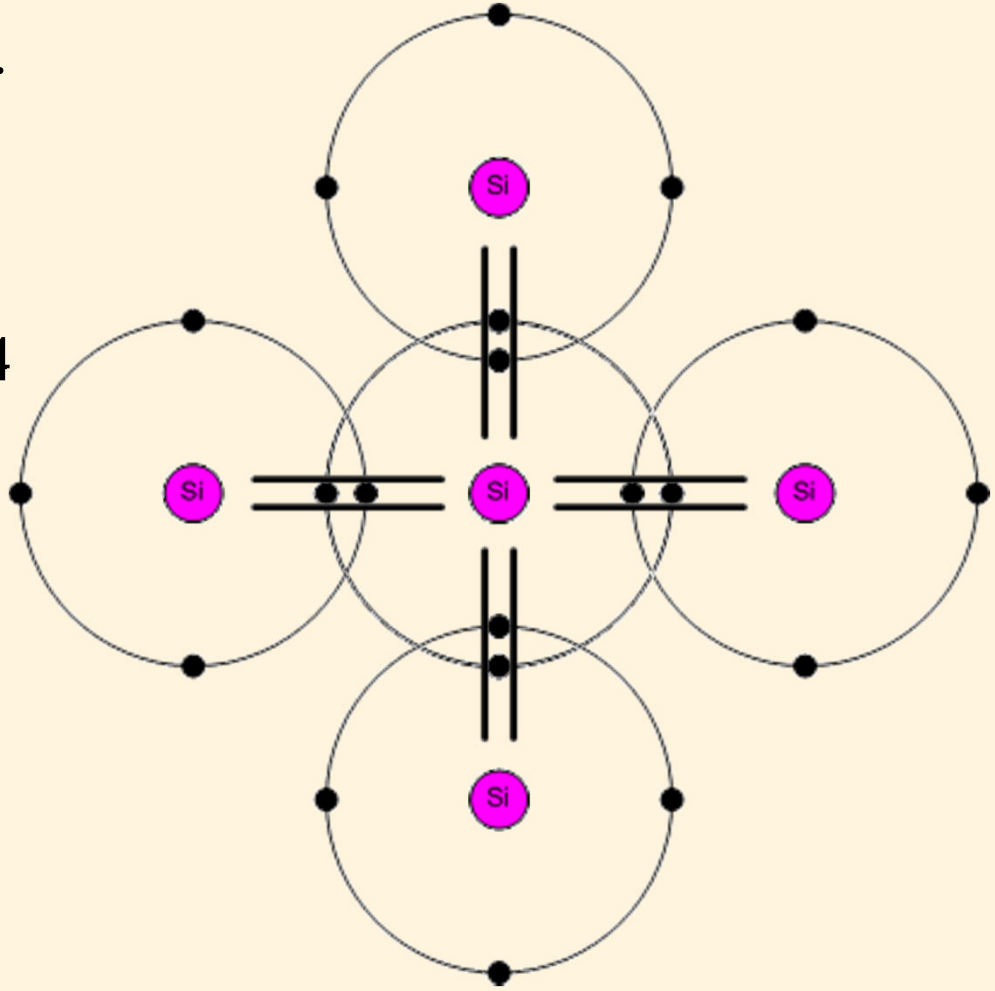
14
Si
32
Ge

The Silicon, Si, Atom

Silicon has a valency of 4 i.e. 4 electrons in its outer shell

Each silicon atom shares its 4 outer electrons with 4 neighbouring atoms

These shared electrons – bonds – are shown as horizontal and vertical lines between the atoms

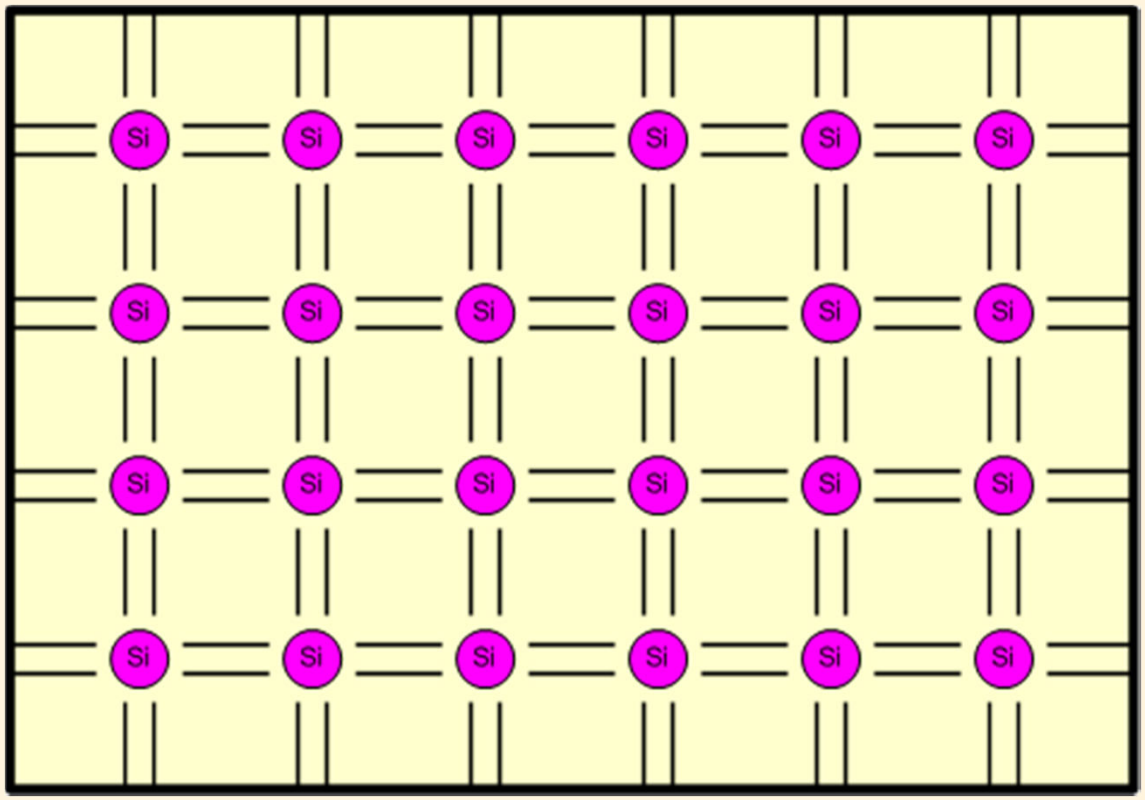


Silicon – the crystal lattice

If we extend this arrangement throughout a piece of silicon…

We have the crystal lattice of silicon

This is how silicon looks when it is cold

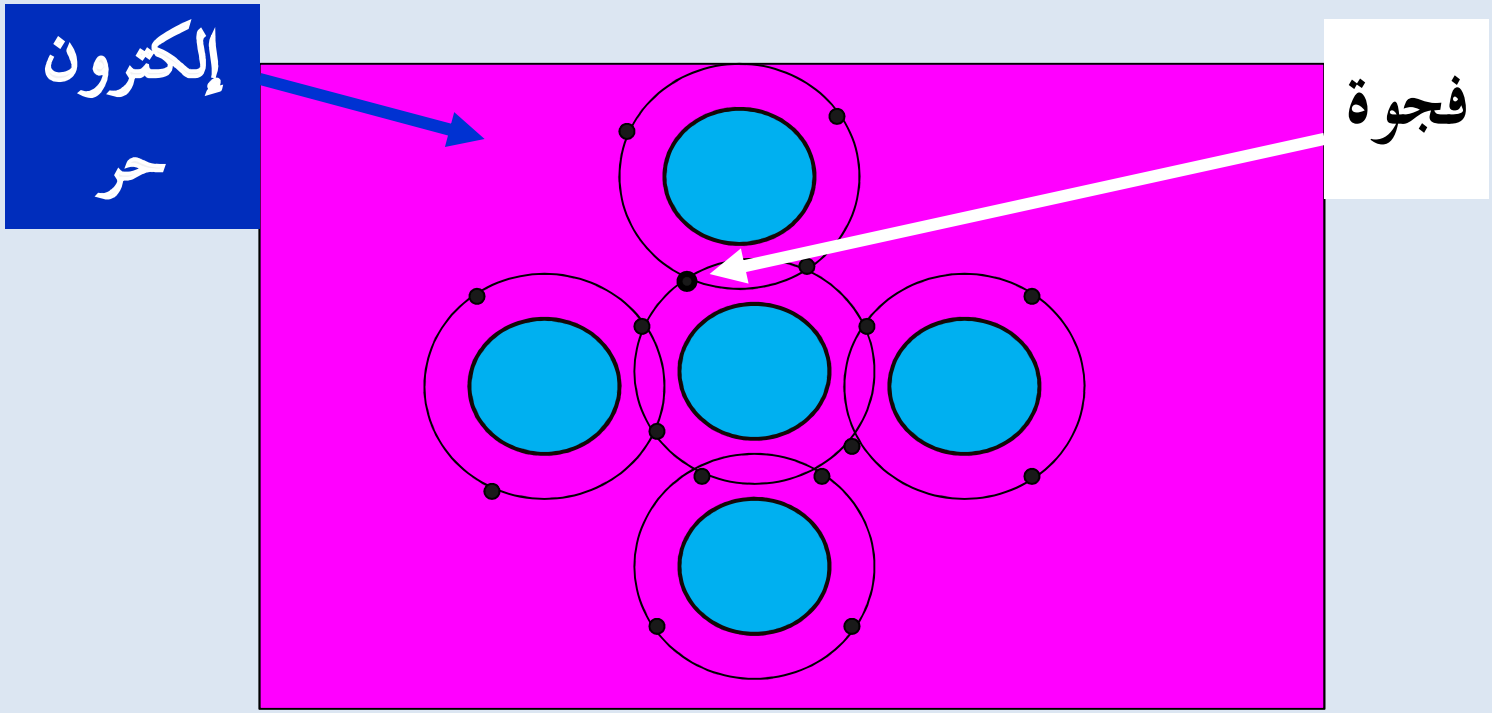


It has no free electrons – it cannot conduct electricity – therefore it behaves like an insulator

أشباه الموصلات النقية Intrinsic semiconductors

توليد إلكترون حر وفجوة

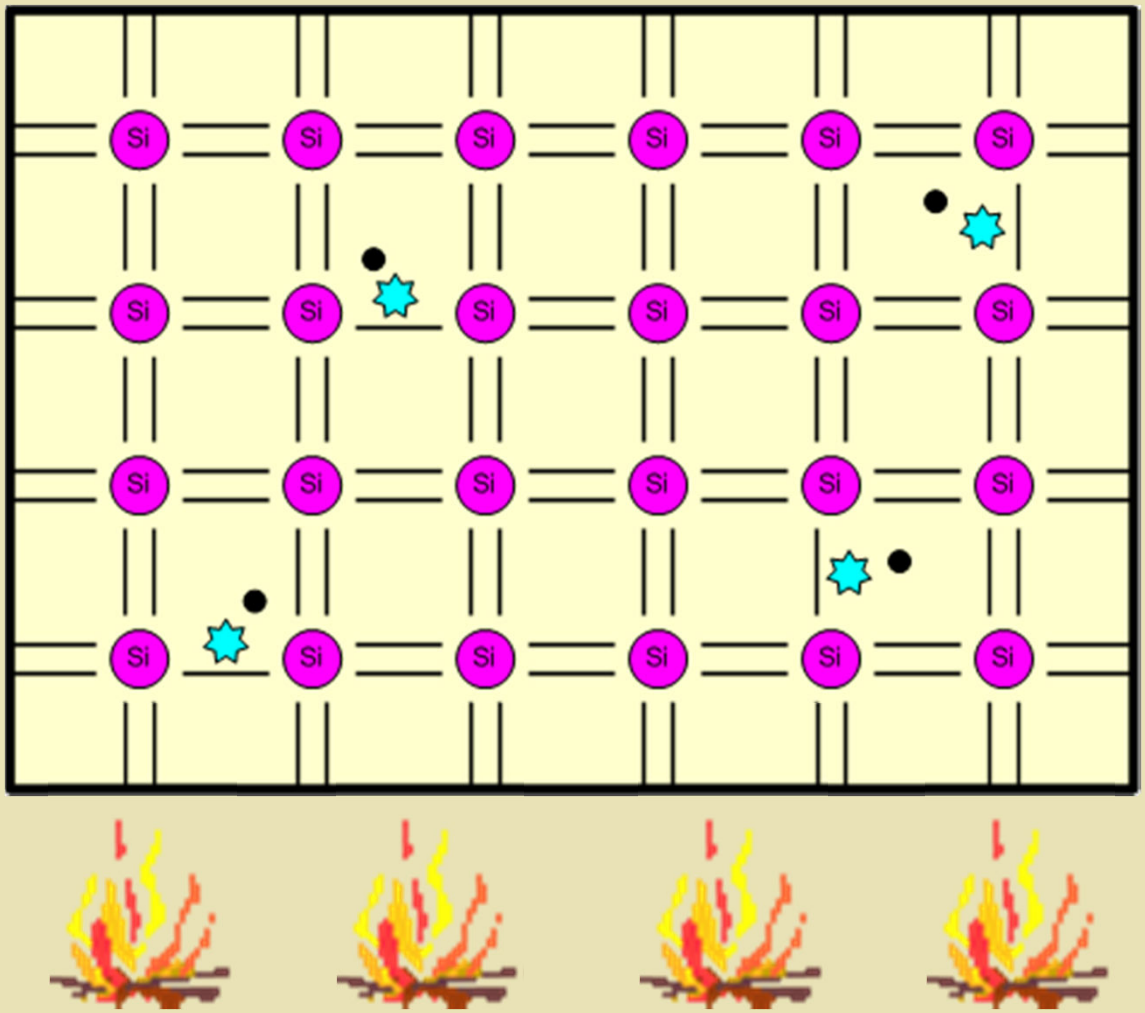
مع ازدياد درجة الحرارة تحصل بعض الإلكترونات على طاقة تكفي للتغلب على طاقة ارتباطها. وهذا يؤدي إلى تحررها لتصبح حرة داخل البلورة تاركة خلفها فراغا يطلق عليه اسم **الفجوة**.



Heating Silicon

We have seen that, in silicon, heat releases electrons from their bonds…

This creates electron-hole pairs which are then available for conduction



توليد إلكترون حر وفجوة

تعتبر الفجوة شحنة موجبة لأن فقد الإلكترون يولد أيون موجب.

عند درجة حرارة الغرفة فإن عدد الفجوات والالكترونات الحرة قليل لذلك تكون المادة عازلة.

الزمن بين توليد الإلكترون وإعادة اتحاده يسمى زمن العمر lifetime.

زمن العمر في حدود النانو ثانية و الميكرو ثانية حسب نقاوة شبه الموصل.

الفجوة تجذب وتصطاد أي إلكترون من الوسط المجاور.

تتحرك الالكترونات في اتجاه يعاكس حركة الثقوب.

أشباه الموصلات النقية Intrinsic semiconductors

- هي أشباه موصلات نقية لا تحتوي على شوائب (السيلكون و الجرمانيوم).
- عند درجة حرارة الغرفة تكون عازلة؛ لأنها تملك القليل من الشحنات الحرة.
- عدد الالكترونات n يساوي عدد الثقوب p **(p = n)**.
- مع رفع درجة الحرارة يزداد عدد حاملات الشحنة؛ وتزداد الموصلية الكهربائية.

Intrinsic Conduction

If more heat is applies the process continues…

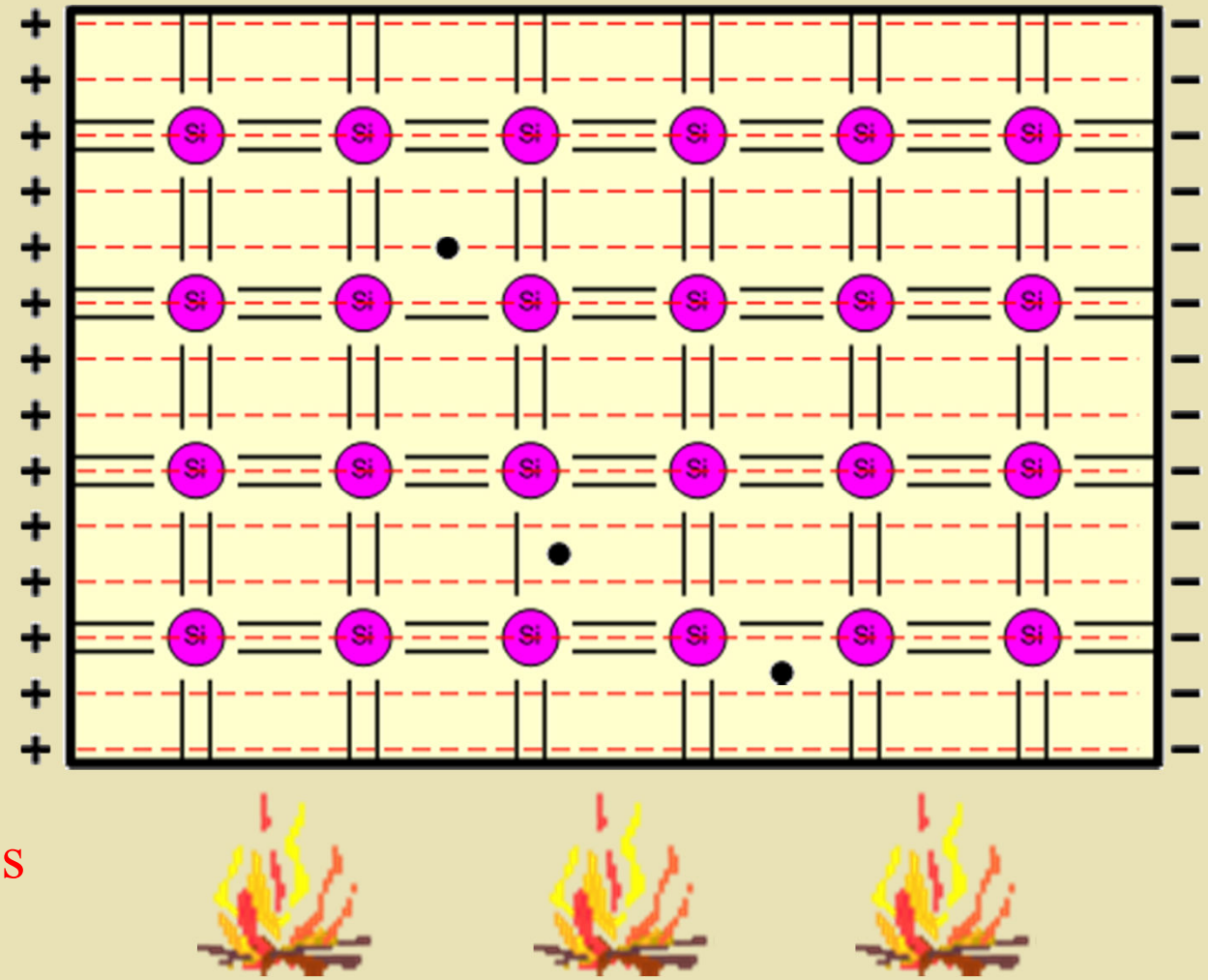
More heat…

More current…

Less resistance…

The silicon is acting as a thermistor

Its resistance decreases with temperature



The Thermistor

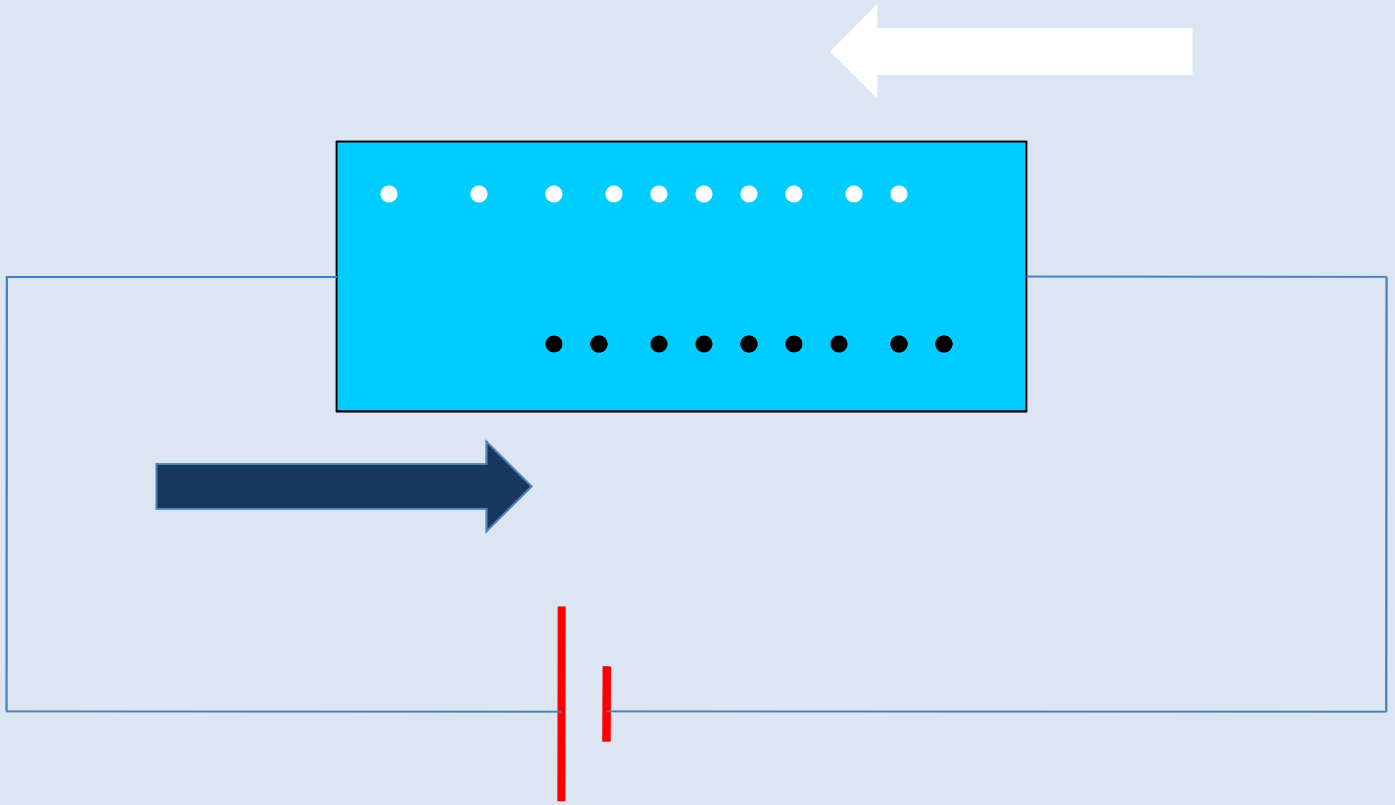
- The thermistor is a heat sensitive resistor
- When cold it behaves as an insulator i.e. it has a very high resistance
- When heated, electron hole pairs are released and are then available for conduction as has been described – thus its resistance is reduced

The Light Dependent Resistor (LDR)

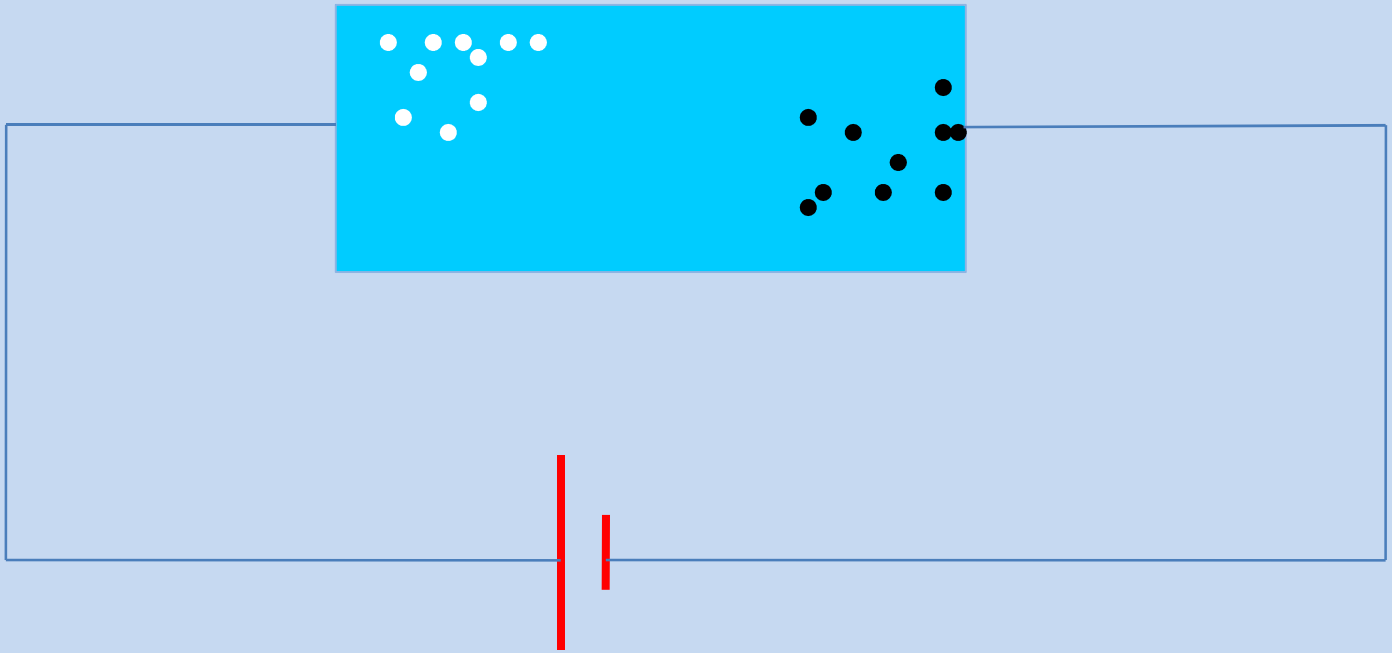
- The LDR is very similar to the thermistor – but uses light energy instead of heat energy
- When dark its resistance is high
- As light falls on it, the energy releases electron-hole pairs
- They are then free for conduction
- Thus, its resistance is reduced

ماذا يحدث عند توصيل شبه موصل نقي بفرق جهد؟

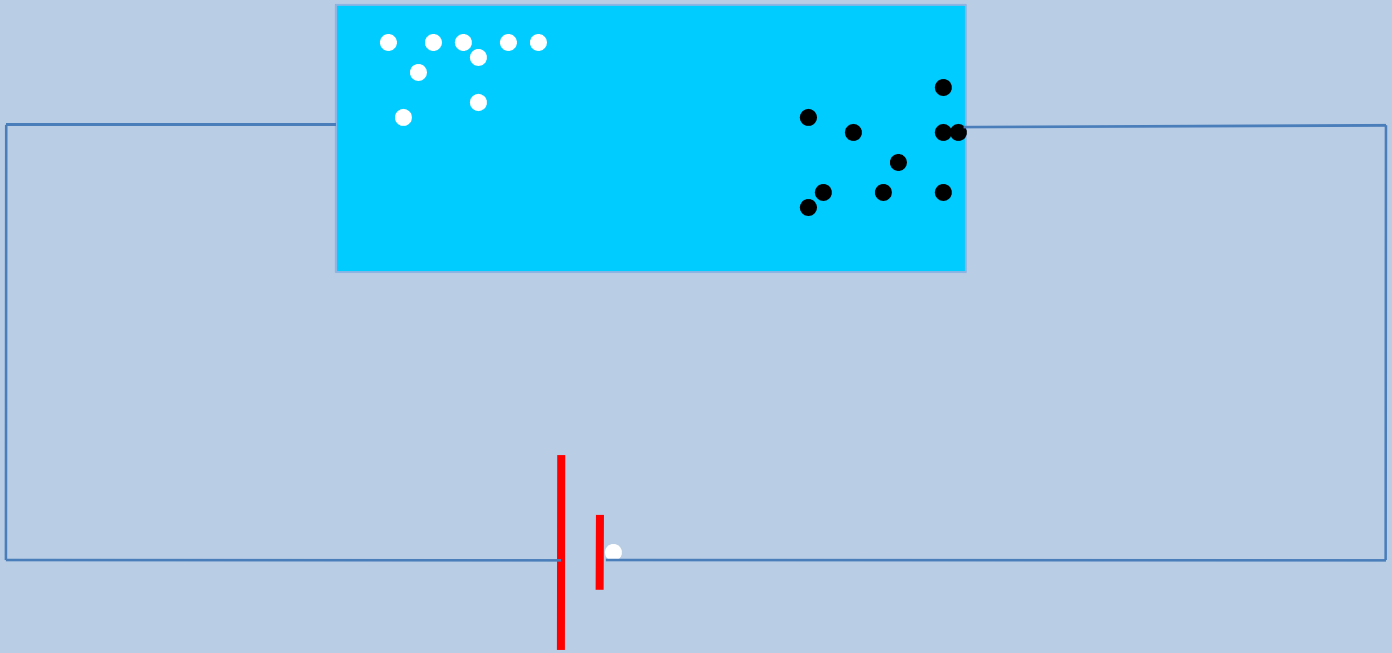
تتحرك الالكترونات باتجاه القطب الموجب والثقوب باتجاه السالب.



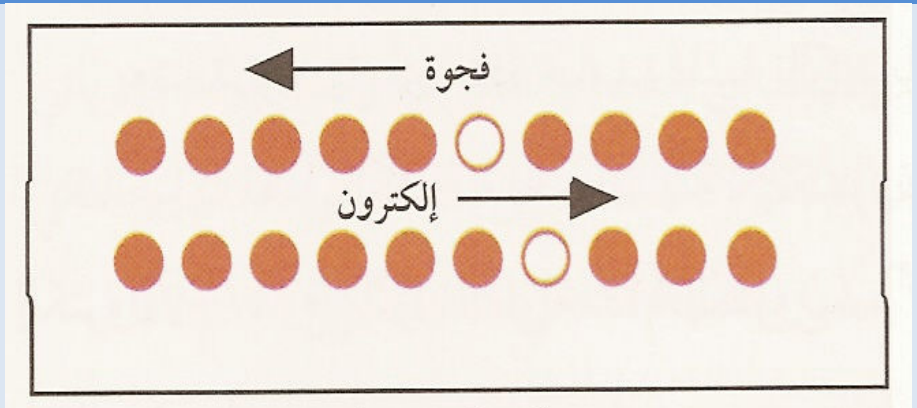
- تنجذب الالكترونات الحرة إلى القطب الموجب من البطارية لتسري خلال سلك التوصيل



- تنجذب الالكترونات الحرة في قطب البطارية السالب إلى الفجوات الموجودة في الطرف الأيمن وتتحد معها.
- الفجوات لا تسري خارج شبه الموصل.



التيار في شبه الموصل ناتج عن تيارين:
تيار الالكترونات الحرة وتيار الفجوات الحرة في اتجاهين متعاكسين.



وجود الفجوة يعتبر **الفرق الأساسي والهام بين الموصلات وأشباه الموصلات**، فالفجوات هي التي جعلت أشباه الموصلات قادرة على عمل أمور كانت مستحيل عملها بالموصلات.

كيف يمكن زيادة توصيل شبه الموصل؟؟؟

أشباه الموصلات المشابة Extrinsic semiconductor

- الطريقة الوحيدة لزيادة موصلية شبه الموصل هي **حقنه بالشوائب**.

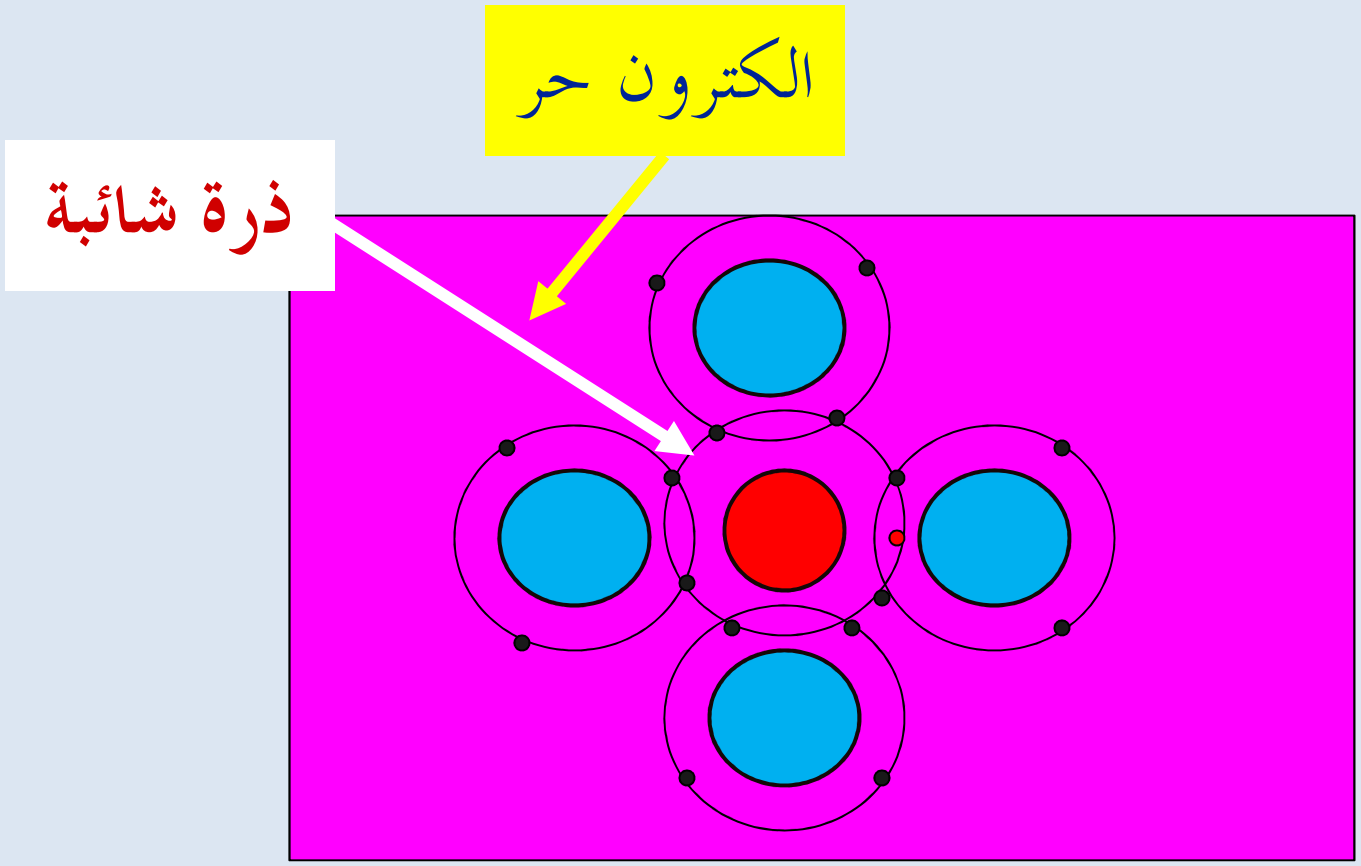
1- أشباه الموصلات السالبة n-type Negative semiconductor

يتم حقن المادة النقية بذرات خماسية التكافؤ (ذرات مانحة (donors)

الفسفور	15 P
الزرنيخ	33 As

أشباه الموصلات السالبة Negative semiconductor n-type

كل ذرة شائبة تهب إلكترون حر إضافي لشبه الموصل.

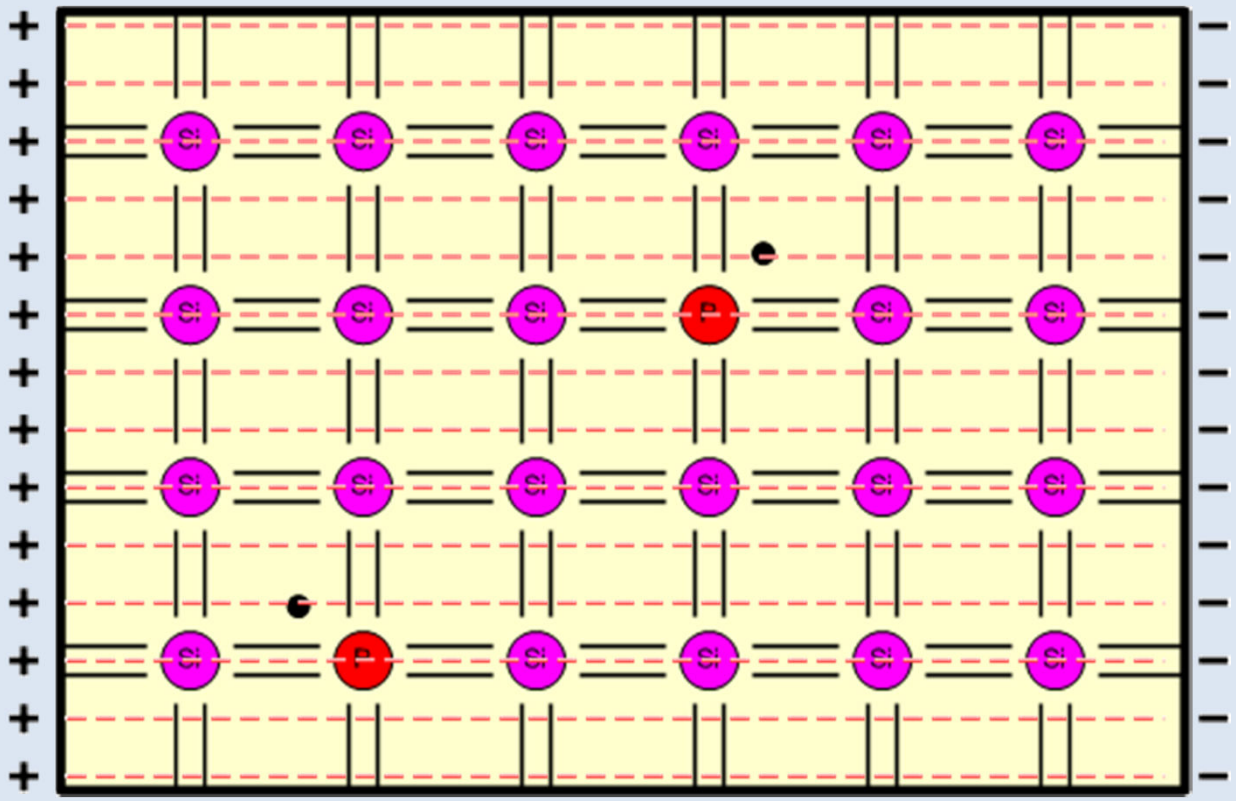


Negative semiconductor n-type أشباه الموصلات السالبة

*Let's remove another silicon atom…

*and replace it with a phosphorus atom

يزداد عدد **الاكترونات** التي يمكن مساهمتها في **التوصيل** و بالتالي **تزداد توصيلية المادة**.

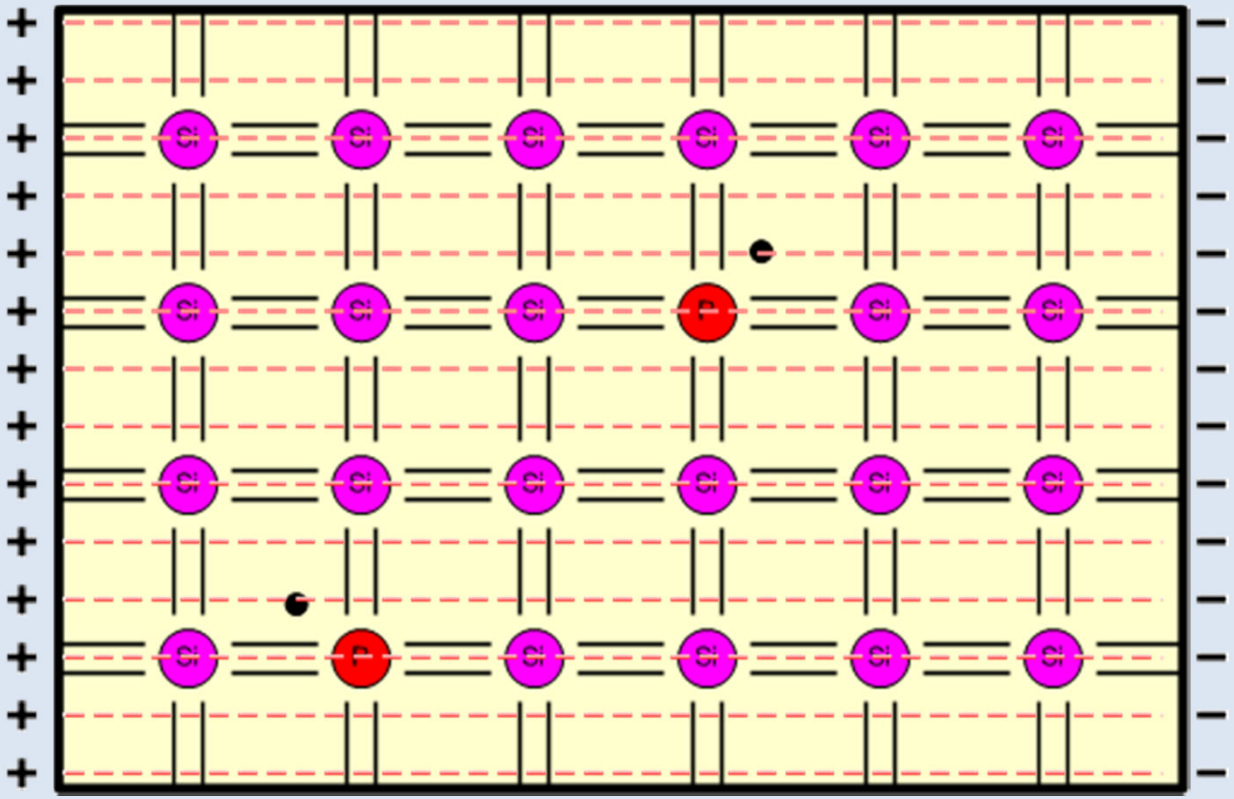


بتطبيق فرق جهد على طرفي السيليكون.....

أشباه الموصلات السالبة Negative semiconductor n-type

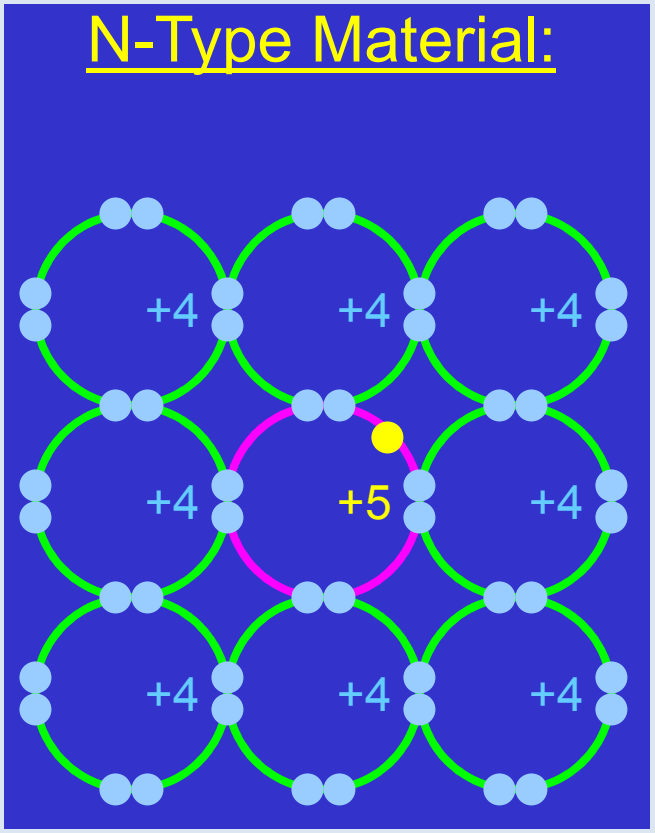
تتجه الشحنات **السالبة** نحو **الطرف الموجب**

يتدفق تيار من حركة الالكترونات الحرة.



أشباه الموصلات السالبة Negative semiconductor n-type

كل ذرة شائبة تهب إلكترون حر إضافي لشبه الموصل.

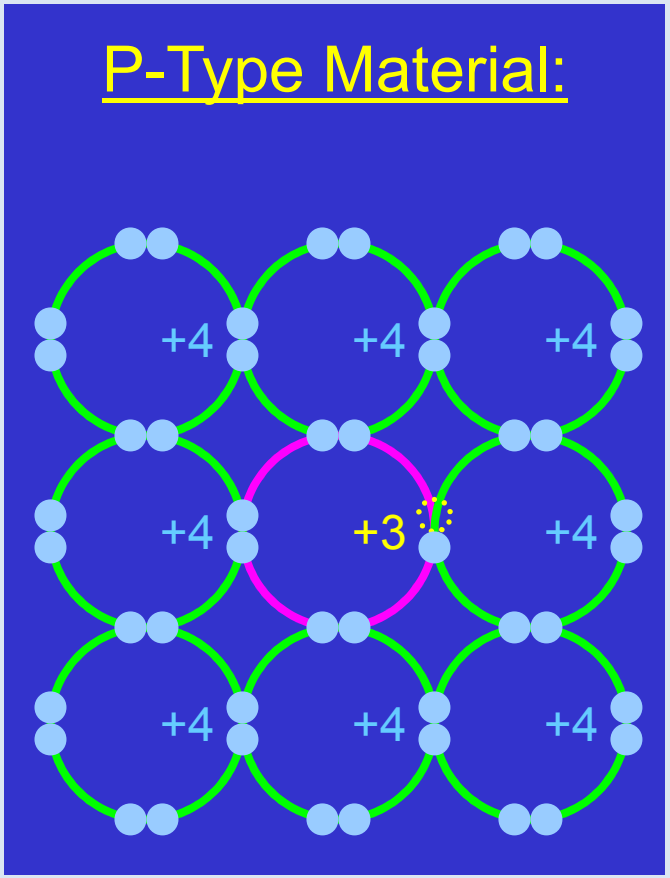


n>>p

الالكترونات هي حاملات الشحنة الأغلبية

الثقوب هي حاملات الشحنة الأقلية

Positive semiconductor n-type أشباه الموصلات الموجبة



يتم حقن المادة النقية بذرات ثلاثية التكافؤ (acceptors)

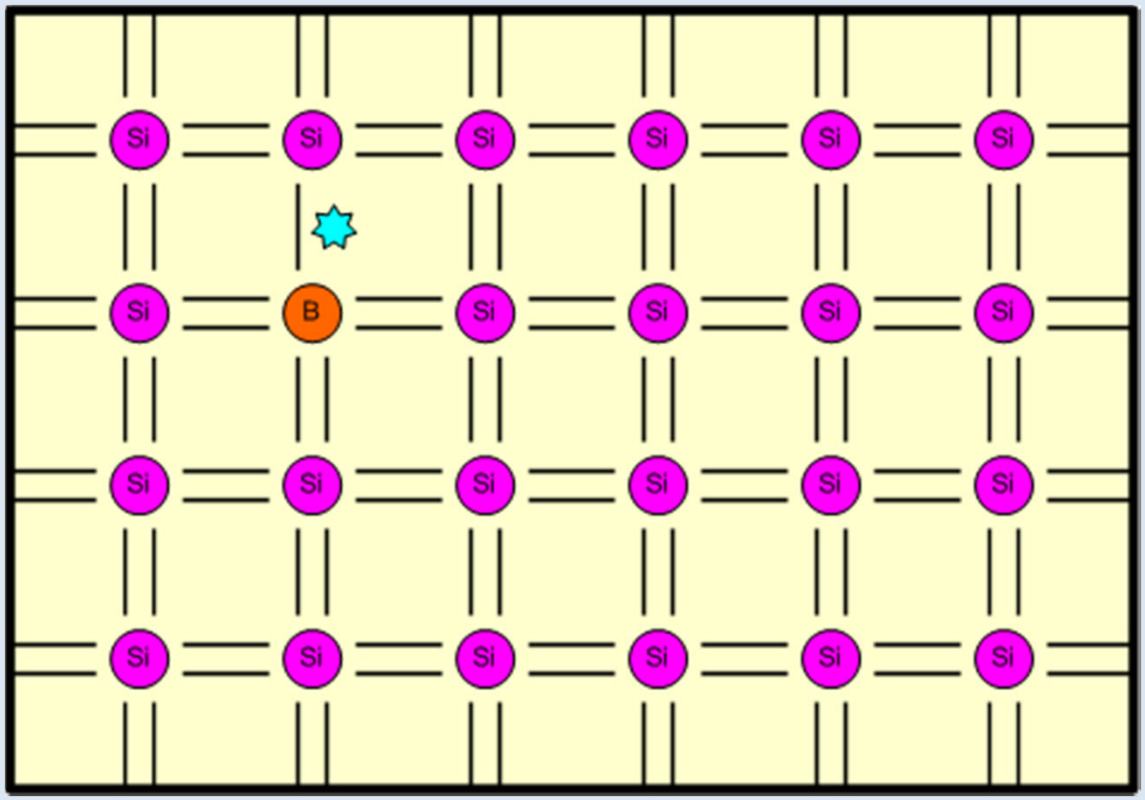
بورون	5 B
المنيوم	13 Al

Positive semiconductor p-type أشباه الموصلات الموجبة

As before, we remove a silicon atom from the crystal lattice…

This time we replace it with a boron atom

Notice we have a hole in a bond – this hole is thus free for conduction



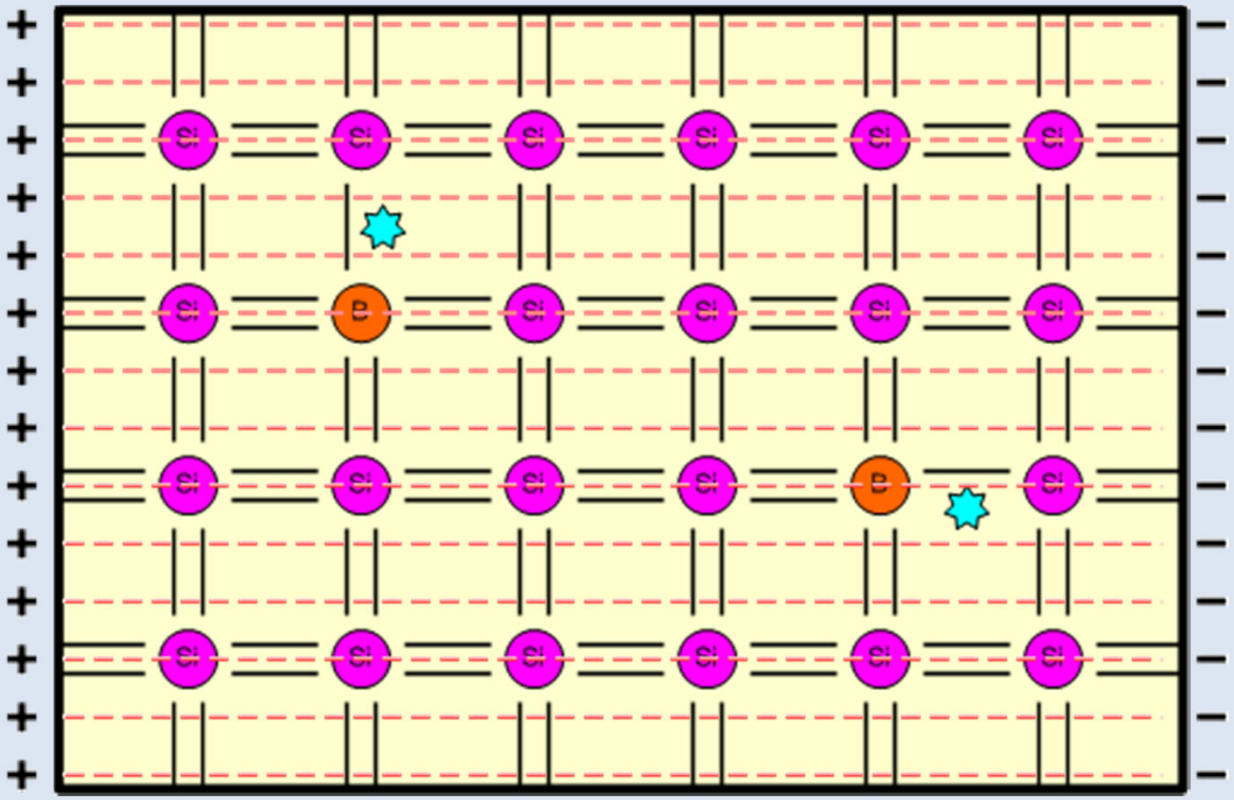
النتيجة فجوة ممكن ان تشترك في التوصيل.

Positive semiconductor p-type أشباه الموصلات الموجبة

*Let's remove another silicon atom…

*and replace it with another boron atom

يزداد عدد **الفجوات** التي يمكن مساهمتها في **التوصيل** و بالتالي **تزداد توصيلية المادة**.

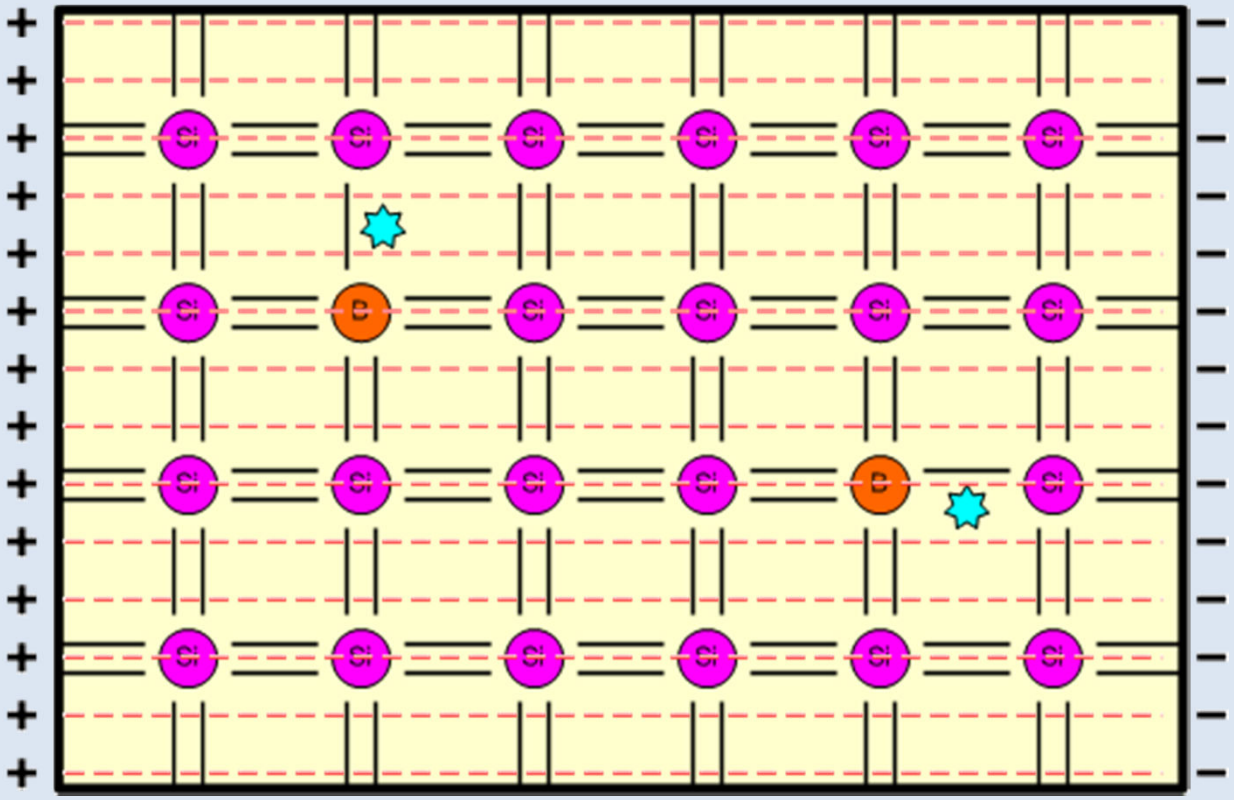


بتطبيق فرق جهد على طرفي السيليكون.....

أشباه الموصلات الموجبة Positive semiconductor p-type

الفجوات الموجبة تتجه نحو **الطرف السالب**.

يتدفق تيار من حركة الثقوب الحرة.



Majority and Minority Carriers