Al sham University
Faculty of Informatic

جامعة الشام الخاصة
كلية الهندسة المعلوماتية

أسس الهندسة الكهربائية
لطلاب السنة الثانية
2020-2021

Dr. Ghada Aldahim
ghadadhem@gmail.com

أنصاف النواقل وتطبيقاتها في الدارات الإلكترونية

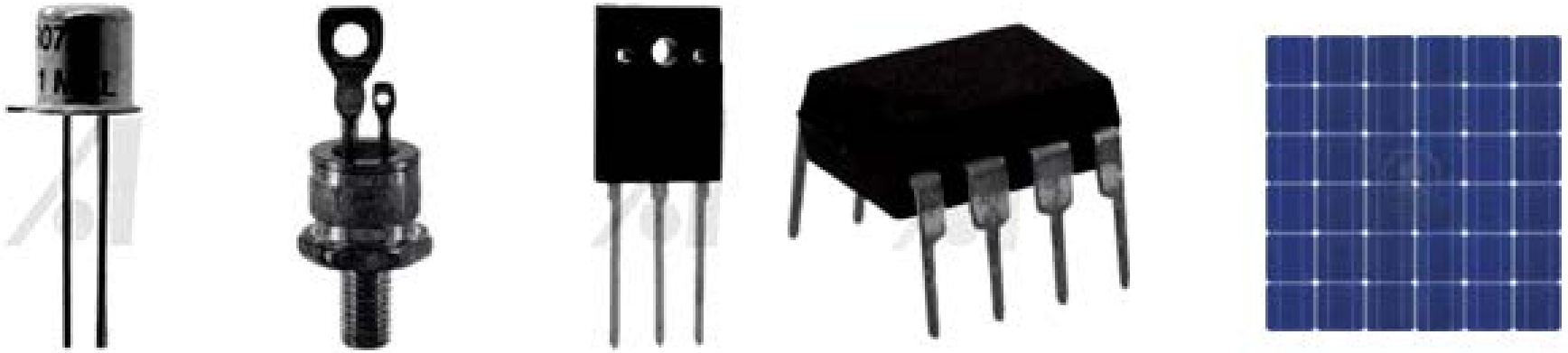
Semiconductors And Their Applications In Electronic Circuits

أنصاف النواقل
Semiconductors

تكنولوجيا أنصاف النواقل

العناصر الإلكترونية المصنوعة من أنصاف النواقل هي أكثر العناصر الإلكترونية استخداماً في التطبيقات الصناعية. من هذه العناصر:

- الديودات والترانزستورات والثايرستورات (Thyristors)
- المقاومات الحرارية (Thermistors)
- الخلايا الكهروضوئية (Photovoltaic cells)
- المقاومات الضوئية (Photo resistors)
- العناصرالإلكترونية الليزرية والدارات المتكاملة (Integrated circuits)



أشكال بعض العناصر الإلكترونية المصنوعة من أنصاف النواقل

ما هو نصف الناقل What is a Semiconductor

تصنف المواد حسب ناقليتها للتيار الكهربائي إلى نواقل وعوازل وأنصاف نواقل :

١- **النواقل (Conductors)** هي مواد ناقلة تمرر التيار الكهربائي بسهولة كالفضة والنحاس والألمنيوم وناقليتها النوعية عالية.

٢- **العوازل (Insulators)** وهي مواد لا تسمح بمرور التيار الكهربائي كالمطاط والزجاج والبلاستيك والتيفلون (Teflon) وغيرها.

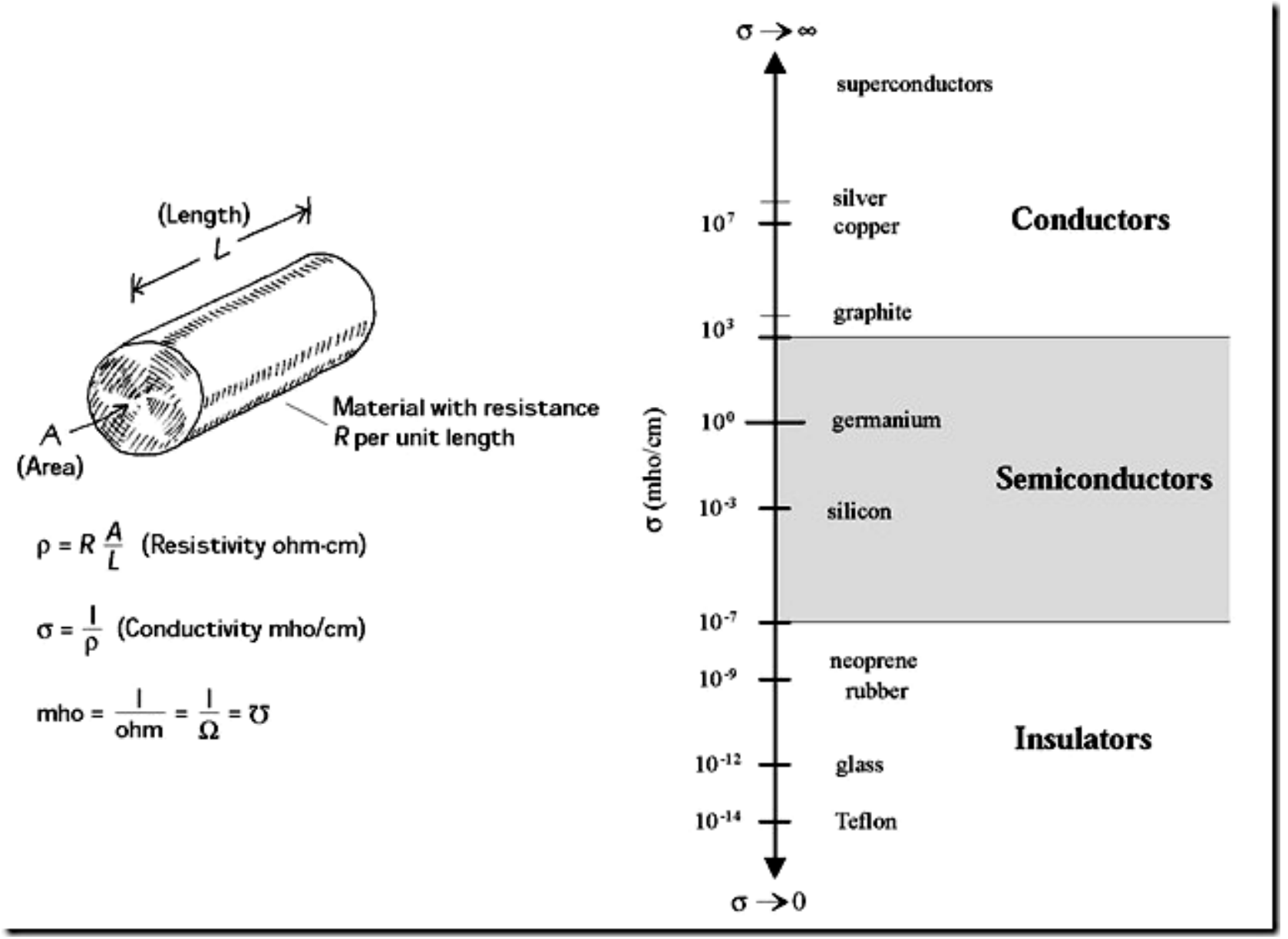
٣- **أنصاف النواقل** وهي عبارة عن مواد لا تنقل التيار الكهربائي في درجة الصفر المطلق، ولكنها تنقل التيار في درجة حرارة الغرفة $20^{o}C$ على نحو ضعيف.

هذه المواد ذات ناقلية نوعية Conductivity (σ) وسط بين الناقليتي النوعيتين للنواقل والعوازل وتقع في مجال من $(10^{-7} - 10^{3})$mho/cm كما هو مبين في الشكل 2.

بعض المواد نصف الناقلة تكون نقية (pure) مثل:

- السليكون (Silicon)
- الجرمانيوم (Germanium)

أما بعضها الآخر فهو عبارة عن خلائط كالنيكروم Nichorome وبعضها سائل (Liquid).



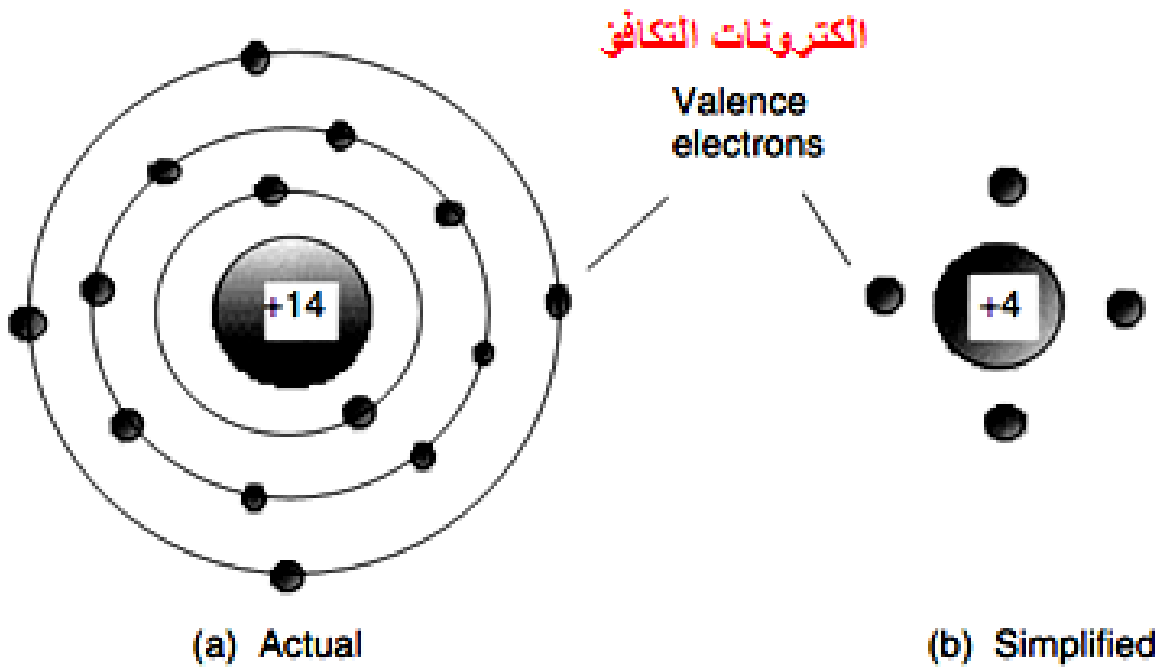
الشكل 2 مجالات الناقلية للنواقل والعوازل وأنصاف النواقل

السليكون

يعتبر السليكون المادة نصف الناقلة الأكثر أهمية والتي تستخدم في تصنيع العناصر الإلكترونية. أما المواد الأخرى كالجرمانيوم والسلينيوم (Selenium) فإنها تستخدم أحياناً ولكنها أقل استخداما من السليكون.

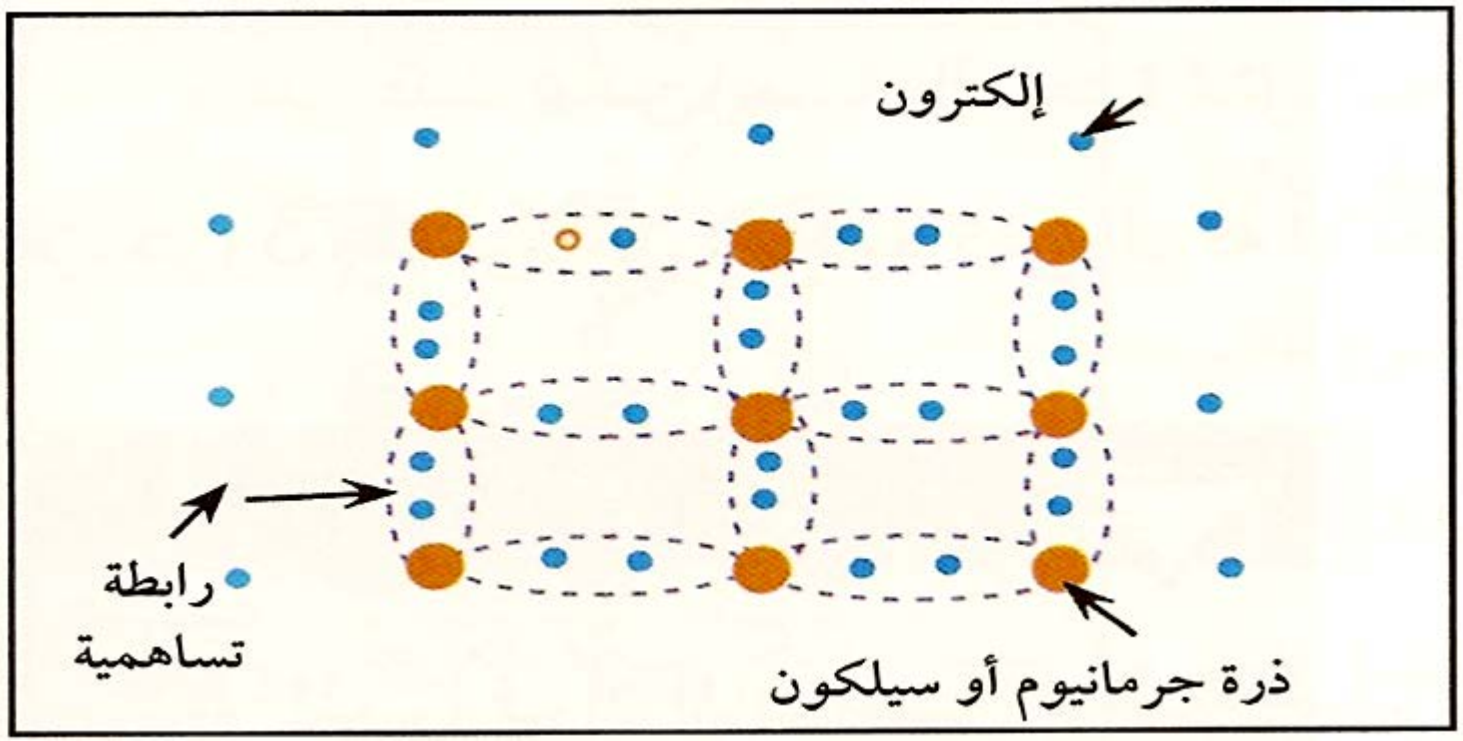
- يمتاز السليكون بأن له بنية ذرية (Atomic Structure) فريدة، وهذه البنية ذات ميزات مفيدة وهامة جدا لتصنيع العناصر الإلكترونية. للسيليكون 14 بروتون في نواته، ولذلك يحتوي على 14 إلكتروناً مداريا أيضاً (a). مداره الخارجي يحتوي على 4 إلكترونات تكافؤ Valence Electrons وهذه الإلكترونات هي الوحيدة التي تصبح **الكترونات حرة*** إذا اكتسبت طاقة مناسبة لتفلت عن النواة.

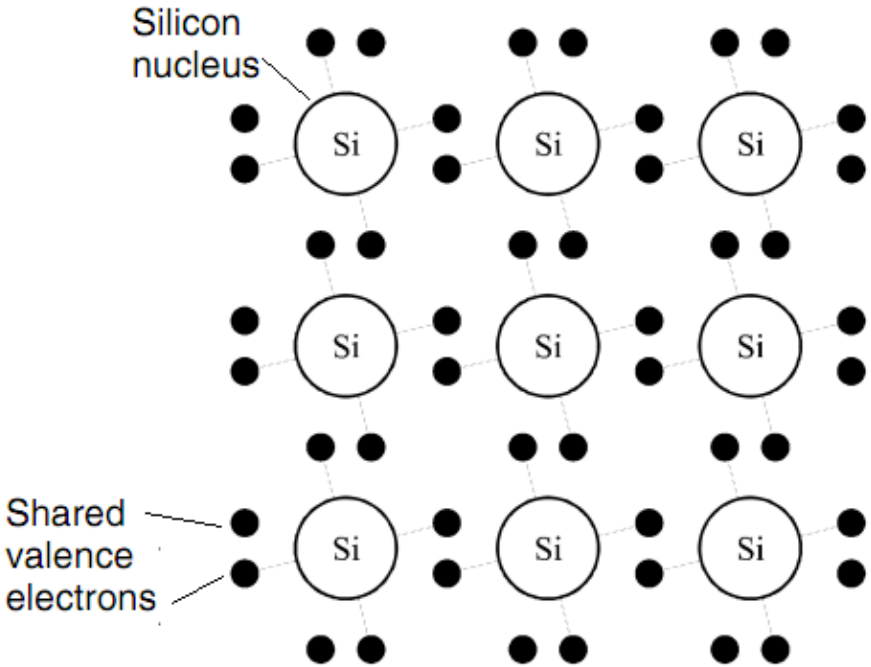
لذلك من الشائع أن نرسم السليكون كما لو كان لديه شحنة 4+ على نواته وأربعة إلكترونات تكافؤ ثابتة (b).



بشكل عام ، الألكترونات الحرة Free electrons هي الكترونات التكافؤ Valence Electrons الموجودة في أبعد مدار عن النواة والذي يسمى مدار التكافؤ. وبسبب قوة الجذب الضعيفة بين النواة والكترونات التكافؤ فانها تكون حرة لتتحرك في الناقل المعدني مثلا. وهذه الألكترونات هي التي تِؤلف التيار الكهربائي عند وصل الناقل إلى منبع كهربائي في دارة مغلقة.

في السيليكون البلوري النقي ، تشكل كل ذرة روابط تساهمية مع أربع ذرات متجاورة.



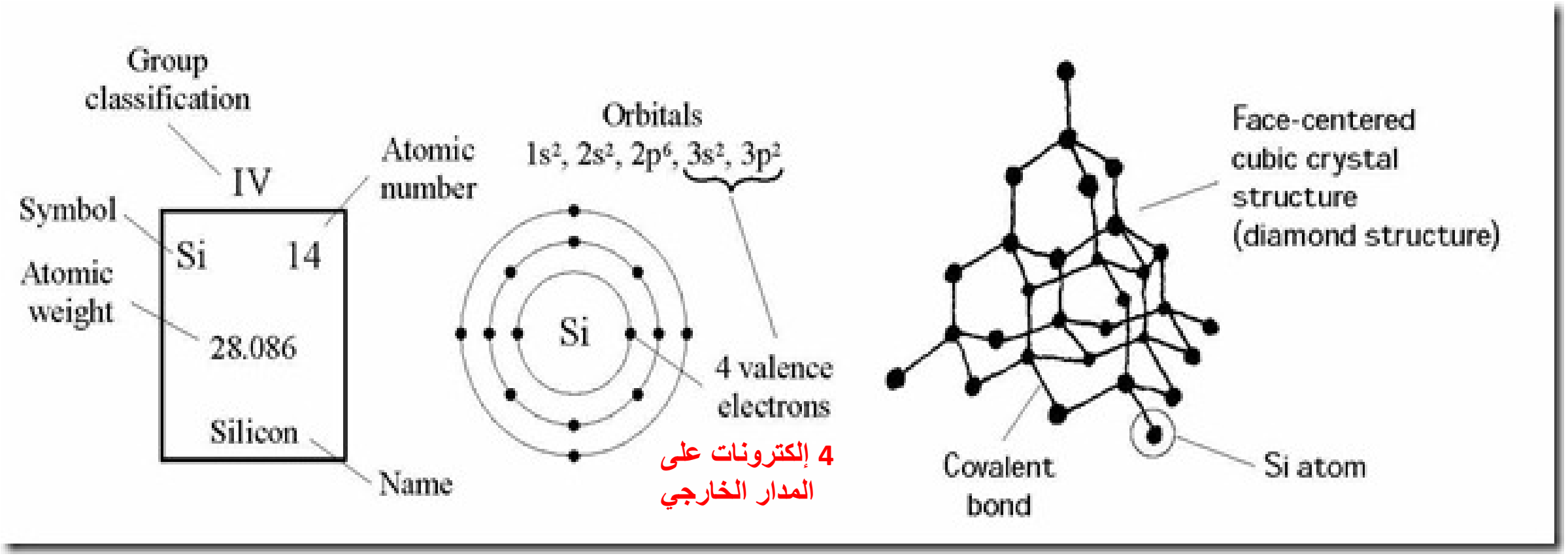


- يتوفر السليكون بكثرة في الطبيعة فهو يقع في المرتبة الثانية بين أكثر العناصر توفراً في الطبيعة فمثلا يتوقع أن ميلاً مكعباً من ماء البحر يحتوي حوالي (15000) طن من السيلكون، ولكن هذا السيلكون نادراً ما يتوفر ببنيته الصافية النقية في الطبيعة.
- قبل إمكانية استخدامه لتصنيع العناصر الإلكترونية لابد من فصله عن المواد المشيبة (الشوائب) العالقة به، وبعد تنقية السيليكون من الشوائب بطرق ومواد مختلفة فإن السيليكون يصهر وتتشكل منه شرائح أو أقراص، حيث يتم تدوير السيلكون المنصهر في وعاء لتتشكل منه نواة كريستالية كبيرة (large crystal reed) وهذه النواة تقطع إلى شرائح وأقراص.

- لأجل درجة حرارة الصفر المطلق، السيليكون هو عازل كهربائي مثالي، إذ لا توجد **إلكترونات حرة** للتجول كما هو الحال في المعادن. ومع زيادة درجة الحرارة ، ستُعطى بعض الإلكترونات طاقة كافية لتحرير نفسها من نواتها ، مما يجعلها متوفرة لتتحرك كتيار كهربائي. كلما ازدادت درجة الحرارة كلما ازدادت كمية الإلكترونات المؤلفة للتيار ، وبالتالي تزيد الناقلية مع درجة الحرارة (على النقيض من المعادن ، حيث تقل الناقلية).

- لا تزال ناقلية السيليكون منخفضَة جدًا عند درجات الحرارة العادية، ولذلك يشار إليه على أنه نصف ناقل. كما سنرى ، بإضافة كميات قليلة جداً من مواد أخرى ، يمكن زيادة ناقلية أنصاف النواقل النقية (pure) بشكل كبير.

- تصف نظرية الكم Quantum Theory الاختلافات بين النواقل (المعادن) والعوازل وأنصاف النواقل (على سبيل المثال ، السيليكون) باستخدام مخططات حزم الطاقة Energy-band diagrams. تمتلك الكترونات ذرة مادة ما طاقات لا بد أن تكون ضمن حزم طاقة معينة مسموح بها.



الشكل 3- البنية البللورية للسيليكون ونموذج ذرته مع توزيع الإلكترونات في المدارات

إن مصمم العناصر الإلكترونية لا يستخدم الشرائح السيلكونية النقية بمفردها لتكوين العناصر الإلكترونية لأنها لا تتمتع بالمواصفات التي تؤهلها لهذا الاستخدام، وذلك لأن **مصمم العناصر الإلكترونية يبحث غالبا عن مادة أو عن مواد تغير ناقليتها فتعمل كناقل في لحظة ما وكعازل في لحظة أخرى**، وحتى تغير المادة من ناقليتها يجب أن تكون قادرة على الإستجابة لقوى خارجية مطبقة عليها، كعامل خارجي مثلاً وشريحة السيلكون النقية لا تحقق ذلك. **إن شرائح السيلكون النقية هي أقرب إلى العوازل منها إلى النواقل ولا تغير ناقليتها عند تطبيق قوة خارجية عليها.**

يَعرِف كل شخص مصمم للعناصر الإلكترونية هذه الأيام أن السيلكون تضاف إليه مواد خاصة بطرق تكنولوجية خاصة كي يصبح جاهزاً للاستخدام في تصنيع العناصر الإلكترونية، وتسمى عملية إضافة الشوائب الخاصة بعملية الإشابه (Doping).

الإشابه Doping

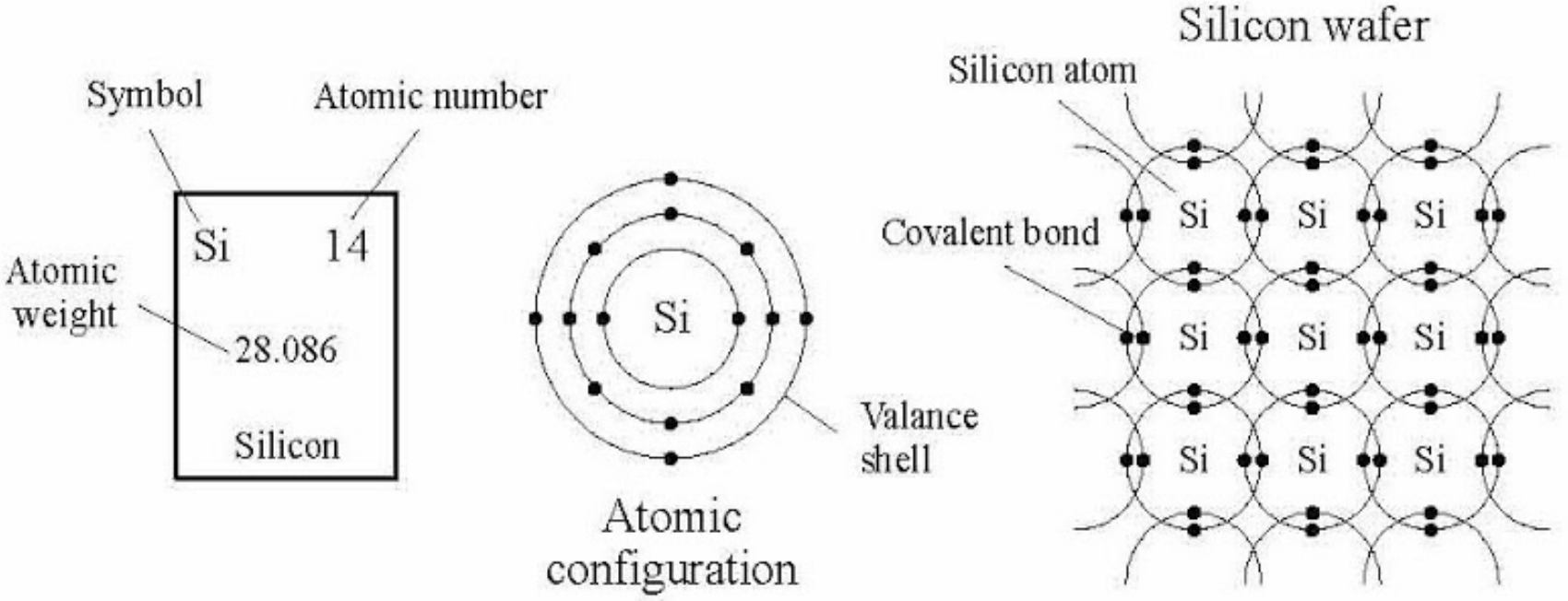
إن عملية الإشابه هي بإختصار إضافة شوائب إلى شريحة السيلكون بطريقة ما تجعلها مناسبة للاستخدام في تصنيع العناصر الإلكترونية، وتستخدم مواد مختلفة للإشابه:

- هناك مواد أساسية هامة تستخدم في إشابة السيلكون مثل - **البورون (boron)**

- الفوسفور(phosphorus)

- وهناك مواد أخرى مثل الأنتيمون (Antimony) والأرسنيك (Arsenic) والألمونيوم (Aluminum) والغاليوم (Gallium) وتؤمن هذه المواد مواصفات خاصة للشريحة بعد أن تضاف إليها .

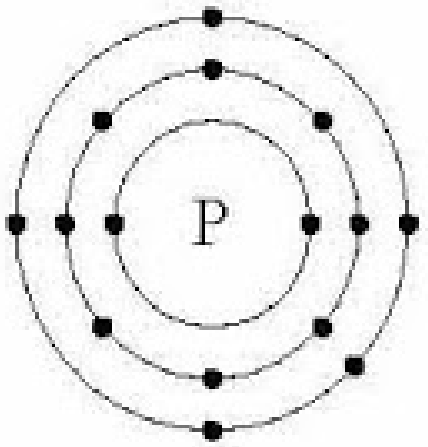
- **عندما تكون شريحة السيلكون غير مشوبة:** لا توجد إلكترونات حرة لأن الكترونات المدار الخارجي الأربعة للذرة الواحدة تكون مرتبطة مع أربع ذرات مجاورة كما في الشكل 4 لذلك فإنه عند تطبيق جهد كهربائي على شريحة السيلكون لن يؤدي إلى مرور تيار كهربائي عبرها بسبب عدم وجود حوامل للشحنات حرة الحركة.



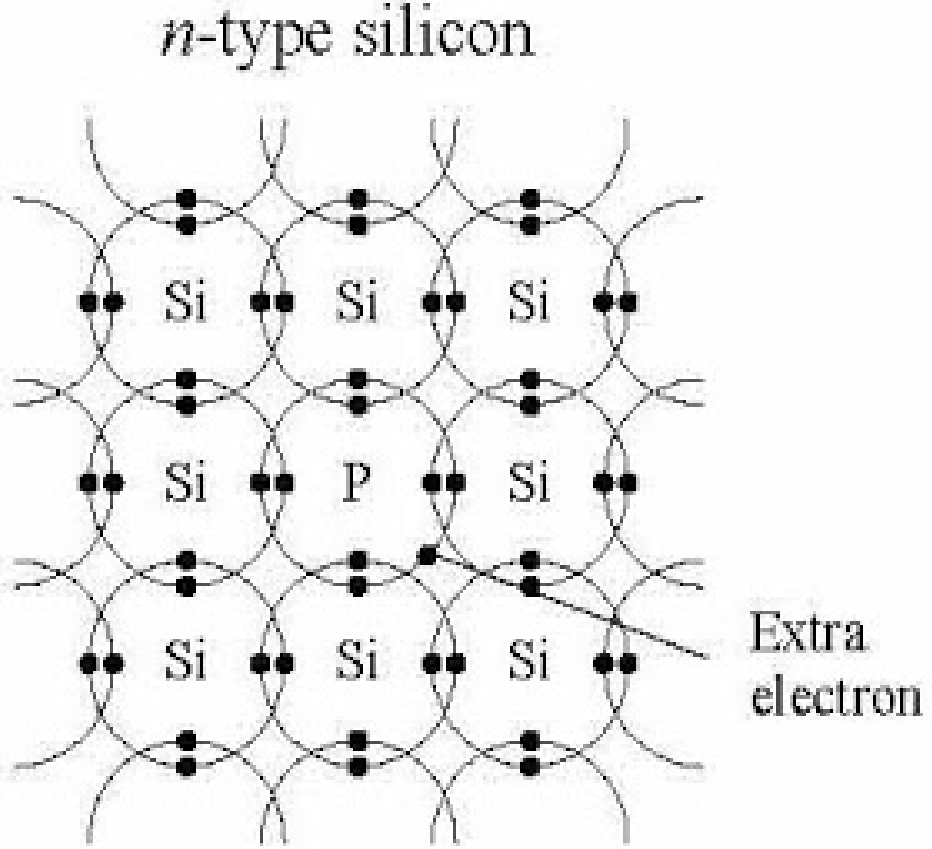
الشكل ٤ البنية الذرية للسيلكون وشكل يوضح مخطط التركيب البللوري

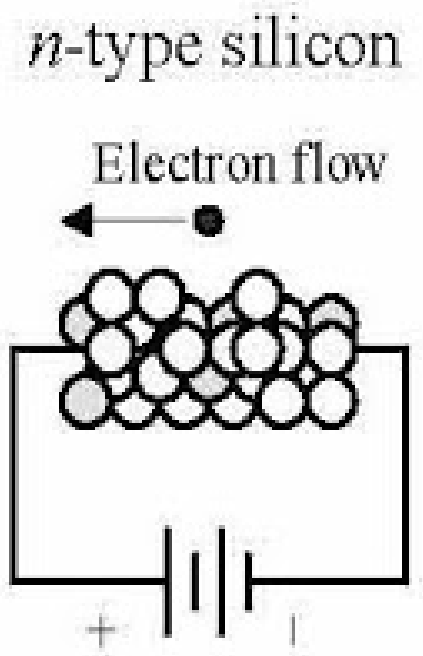
- **عند إضافة الفوسفور إلى شريحة السيلكون** فإن ذرة الفوسفور الواحدة والتي تحوي خمسة إلكترونات في مدارها الخارجي سوف تتشارك بأربعة إلكترونات مع أربع ذرات سيلكون مجاورة وتشكل معها روابط مشتركة أما **الإلكترون الخامس لذرة الفوسفور فإنه يبقي حراً ضمن النسيج البللوري للمادة** ويمكن أن يشارك في عملية نقل التيار الكهربائي (أنظر الشكل 5)، وعند تطبيق جهد كهربائي على شريحة السيلكون المشابه بالفوسفور فإن الألكترون سوف ينتقل عبر الشريحة إلى القطب الموجب للجهد المطبق وطبعا كلما زاد عدد ذرات الفوسفور (عادة تضاف ذرة فوسفور واحدة لكل 1000 ذرة سيلكون) ضمن شريحة السيلكون يزداد عدد الإلكترونات الحرة الفوسفورية ويزداد التيار. يسمى السيلكون المشاب بالفوسفور باسم سيلكون نوع (n) (n-type silicon)

وحوامل التيار في هذا السيلكون هي الإلكترونات ذات الشحنات السالبة وتسميته بسيلكون نوع (n) مأخوذة من (negative-charge-carrier-type-silicon).



Atomic configuration





الشكل 5 بنية سيلكون مشاب بالفوسفور وتكون الإلكترونات الحرة

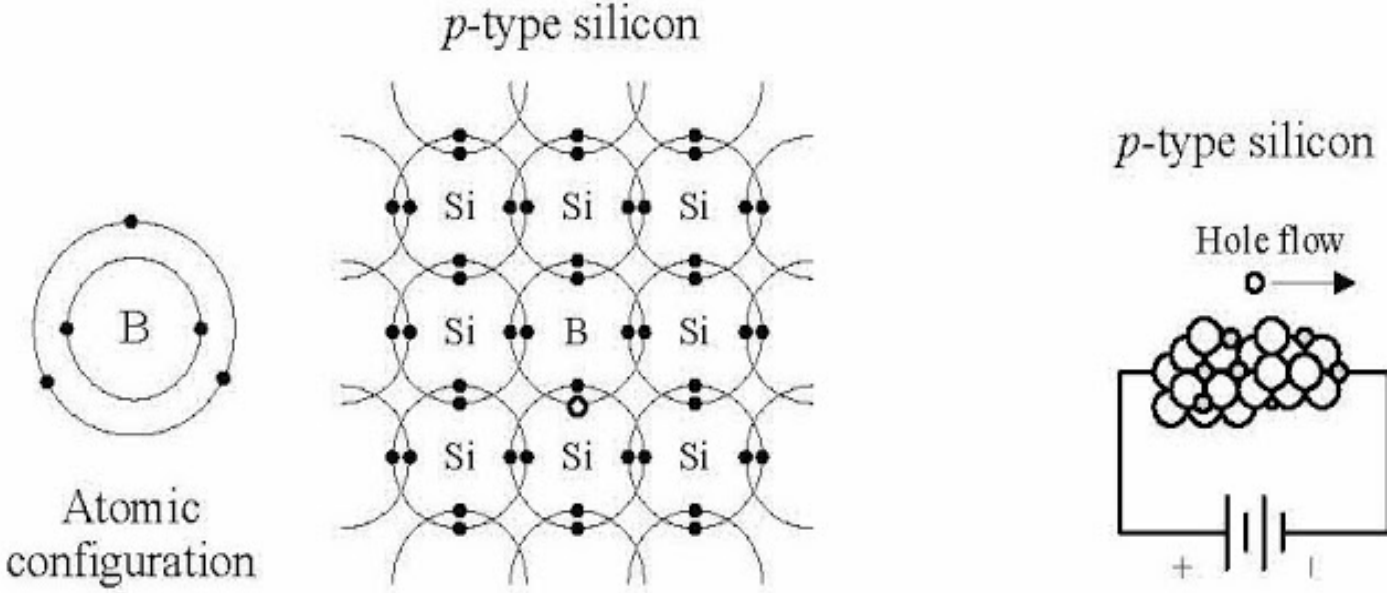
إذا أضيف البورون إلى السيلكون، فإن التأثيرعلى الناقلية سوف يكون مختلفاً عن تأثير الفوسفور، وذلك لأن البورون يحوي في المدار الخارجي لذرته فقط على ثلاثة إلكترونات تكافؤ، ويشارك البورون بهذه الإلكترونات الثلاثة مع ثلاث ذرات مجاورة من السيلكون مايعني أن ثقبا موجب الشحنة يظهر لنواة البورون. وسرعان ما يتحرك الكترون من ذرة سيليكون مجاورة ليملأ الثقب في ذرة البورون (لذلك تسمى ذرة البورون آخذة Acceptor) مخلفا وراءه ثقبا (hole) في ذرة السيلكون وهذا يعني أن الثقب الموجب تحرك من ذرة البورون إلى ذرة السيلكون؛ مما يجعل البلورة المشابة تحوي فائضا من الشحنات الموجبة. يسمى السيلكون المشاب بالبورون باسم سيلكون P ومعنى ذلك أن حوامل الشحنة المتحركة هي الثقوب ذات الشحنات الموجبة كما في الشكل 6. (positive-charge-carrier-type silicon).

عند تطبيق جهد خارجي على شريحة سيلكون مشابه بالبورون، فإن الثقب سوف يتحرك إلى القطب السالب للجهد المطبق، وينتقل إلكترون من رابطة مشتركة مجاورة ليملأ مكان الثقب.

على الرغم من اعتبار الثقب ذا شحنة موجبة إلا أن الثقب لا يحوي شحنة فيزيائية وفقط يظهر كما لو أن الثقب له شحنة موجبة وذلك بسبب عدم توازن الشحنات في الذرة التي خسرت إلكتروناً وخلف وراءه ثقبا.

فعادة تكون شحنات الإلكترونات التي تدور حول نواة ذرة سالبة ومساوية لشحنات البروتونات Protons الموجبة الموجودة في نواة الذرة وعندما تخسر الذرة إلكترونا تصبح شحنتها الكلية موجبة بمقدار شحنة بروتون موجب واحد أو إلكترون سالب (negative electron)

يسمى السيلكون المشاب بالبورون باسم سيلكون نوع (p) أو (p-Type silicon) ومعنى ذلك أن حوامل الشحنة المتحركة هي الثقوب ذات الشحنات الموجبة (positive-charge-carrier-type silicon)



الشكل 6 بنية سيلكون مشاب بالبورون وتكون الثقوب الحرة

ومما سبق نلاحظ أن كلاً من:

- السيلكون نوع (n) قادر على تمرير التيار الكهربائي و يمرر هذا التيار الكهربائي بواسطة الإلكترونات الحرة.
- السيلكون نوع (p) فيمرر التيار بواسطة الثقوب الحرة.

الدارة الإلكترونية Electronic circuit

هي عبارة عن مسار مغلق من المكونات الإلكترونية الموصولة فيما بينها ويمكن للتيار الكهربائي المرور عبرها وهي المكون الأساسي لكل الأجهزة الإلكترونية.

–تعد الدارات الإلكترونية أساس النظم الإلكترونية التي تستخدم في مجالات هندسية شتى مثل التحكم والقياس ومعالجة الإشارة وتحويل الطاقة (DC–DC, DC–AC, AC–DC, AC–AC).

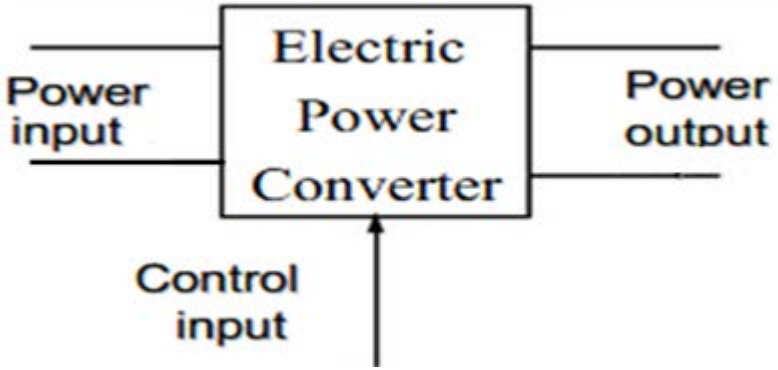
– تتكون الدائرة الإلكترونية بشكل أساسي من مقاومة (resistor) ومكثف (capacitor) وملف والأجهزة نصف الناقلة كالديود Diode والترانزستور Transistor والثايرستور Thyristor والكثير من المكونات الأخرى التي تجتمع لتكون الدائرة الإلكترونية .

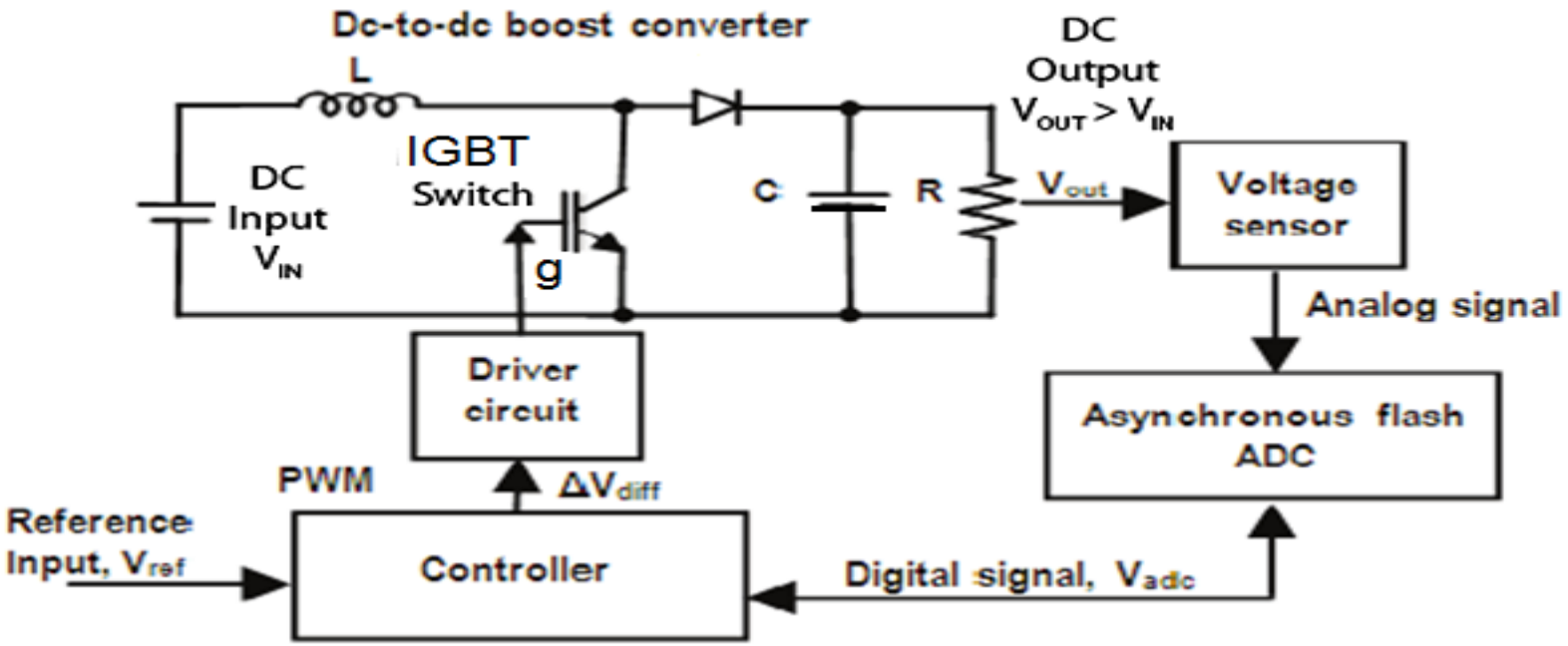
يتم تدريس **علم الإلكترونيات** **وعلم إلكترونيات القدرة** في العديد من الجامعات في مختلف أنحاء العالم. علم الإلكترونيات يعنى بتفاعل عناصر الدائرة الإلكترونية مع بعضها البعض . أما إلكترونيات القدرة فهو يجمع بين أنظمة القدرة الكهربائية والإلكترونيات والتحكم معا.

تتدرج الدوائر الإلكترونية من دائرة بسيطة تمثل مصدر فرق جهد ومقاومة مثل (بطاريه وضوء صغير) إلى دوائر معقدة تحتاج إلى عدة مهندسين وساعات من العمل لتحليلها مثل اللوحة الرئيسية للكمبيوتر

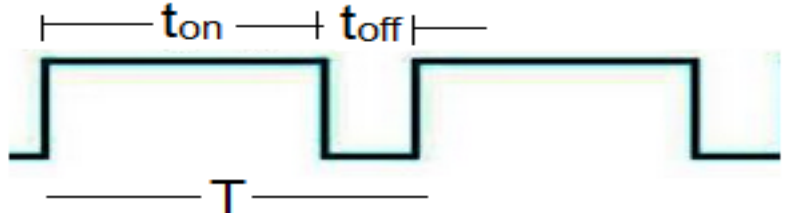
Conversion of electric power

مثال على دارة ألكترونيات قدرة:
مبدل رافع للجهد المستمر
العناصر: ترانزستور- ديود -
ملف – مكثف – دارة تحكم





Dc to Dc boost converter circuit with closed loop control system for constant output voltage



Switching square wave

Switch duty cycle (ratio) $D = \frac{t_{on}}{T}$

T = Switching period

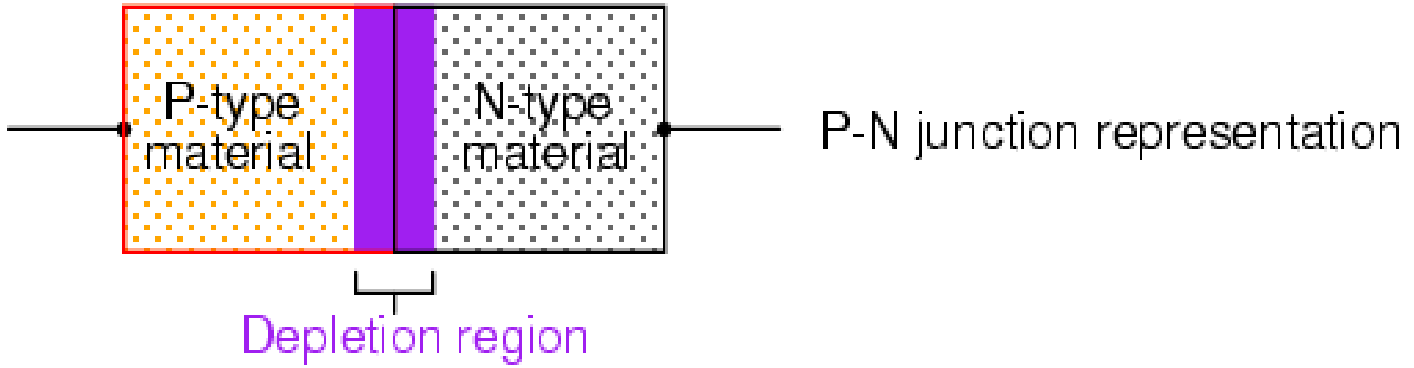
f = 1/T = Switching frequency

$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{1 - D}$$

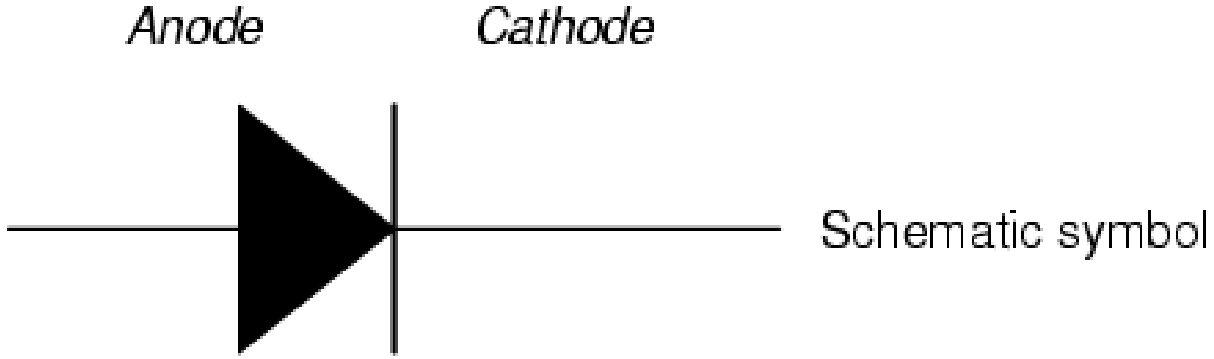
في بداية اكتشاف أنصاف النواقل semiconductors مثل مادتي الجرمانيوم والسيليكون، وقبل الاكتشاف المخبري للترانزيستورات، كانت هناك العديد من المشاكل التي يجب التغلب عليها لصناعة هذه الثنائيات. استطاع المهندسون في منتصف الخمسينات حل معظم النقاط الحرجة لهذه المشكلات، والدخول بشكل فعال في تكنولوجيا الأجسام الصلبة solid-state .

الديود (الثنائي)

- يتشكل الثنائي من منطقتين متجاورتين من النوع p,n تكون المنطقة n مليئة بالشحنات السالبة إلكترونات (electrons) ، والمنطقة p مليئة بالشحنات الموجبة ثقوب (holes) ، يفصل بين المنطقتين منطقة خالية من الشحنات تدعى بالمنطقة المحرمة أو الخالية depletion region ، كما في الشكل التالي:



P-N junction representation



Schematic symbol

يعمل الديود كقاطع ألكتروني في دارة مغذاة من منبع كهربائي مستمر أو متناوب.

بتطبيق انحياز أمامي (جهد مستمر) ، أي وصل النهاية الموجبة للمنبع المستمر إلى الطرف p للثنائي، والنهاية السالبة للمنبع إلى الطرف n يمكن للتيار أن يمر داخل الثنائي.

- بتطبيق انحيازعكسي، أي وصل النهاية الموجبة للمنبع إلى الطرف n للثنائي والنهاية السالبة إلى الطرف p يمنع التيار من المرور عبر الثنائي .

لذا يستخدم الثنائي PN في تطبيقات عدة من أكثرها شيوعاً تقويم التيار المتناوب، أي السماح للتيار بالمرور باتجاه ومنعه من المرور بالاتجاه المعاكس .

الثنائي (الديود) المثالي

الوصلة الثنائية المثالية (الديود المثالي)

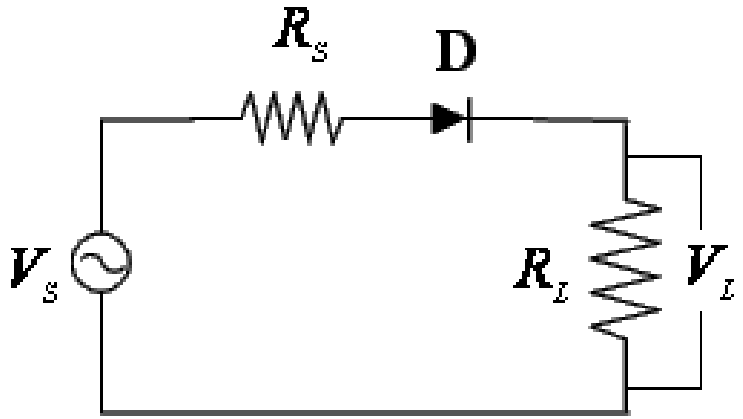
- يقال للوصلة الثنائية أنها مثالية إذا كانت مقاومتها للتيار تساوي صفر في حالة التوصيل الامامي وتساوي مالا نهاية في حالة التوصيل العكسي .

- يقال للوصلة الثنائية أنها مثالية إذا كان فرق الجهد بين طرفي الوصلة الثنائية صفراً مهما كانت قيمة التيار في حالة التوصيل الامامي. وفي حالة التوصيل العكسي يكون التيار صفراً مهما كان فرق الجهد بين طرفي الوصلة الثنائية.

- يمكن اعتبار الوصلة الثنائية المثالية كدائرة قصر في حالة التوصيل الأمامي بينما يمكن اعتبارها كدائرة مفتوحة في حالة التوصيل العكسي.

مثال (١)

احسب قيمة V_L في الدائرة الآتية :



الحل:

١- عند مرور نصف الموجة الموجب أي في حالة التوصيل الأمامي للديود يمكن اعتبار الديود كدارة قصر وبالتالي يكون:

$$I_D = \frac{V_S}{R_S + R_L}$$

$$V_L = I_D R_L \quad \Longrightarrow \quad V_L = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$$

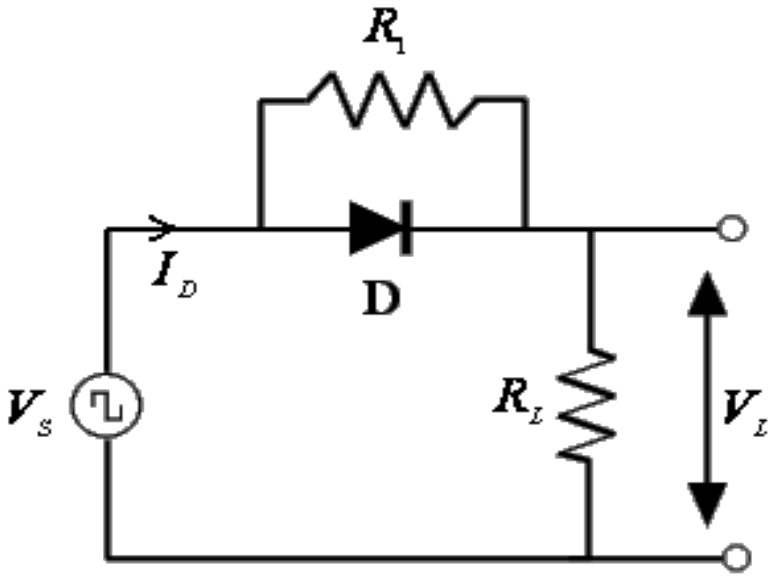
٢- عند مرور نصف الموجة السالب أي في حالة التوصيل العكسي يمكن اعتبار الديود كدارة مفتوحة وبالتالي يكون:

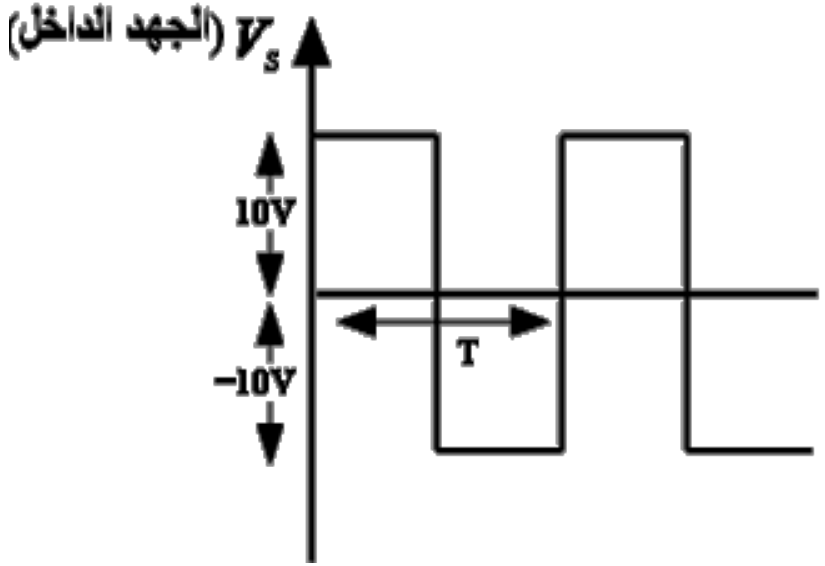
$$\boldsymbol{I_D = 0}$$

$$\boldsymbol{V_L = I_D R_L = 0}$$

مثال (٢)

في الدارة الموضحة بالشكل إذا كان V_S هو جهد موجه مربعة سعتها $10V$ وزمنها الدوري T . وإذا كان $R_L = R_1 = 10\Omega$ والوصلة الثنائية مثالية . استنتج قيمة الجهد V_L وارسم الشكل الموجي الناتج





الحل:

١- في حالة : $V_S > 0$

$$V_L = V_S = 10V$$

٢- في حالة $\boldsymbol{V_S < 0}$ تكون الوصلة الثنائية متصلة اتصالاً عكسياً أي دارة مفتوحة وبالتالي يكون :

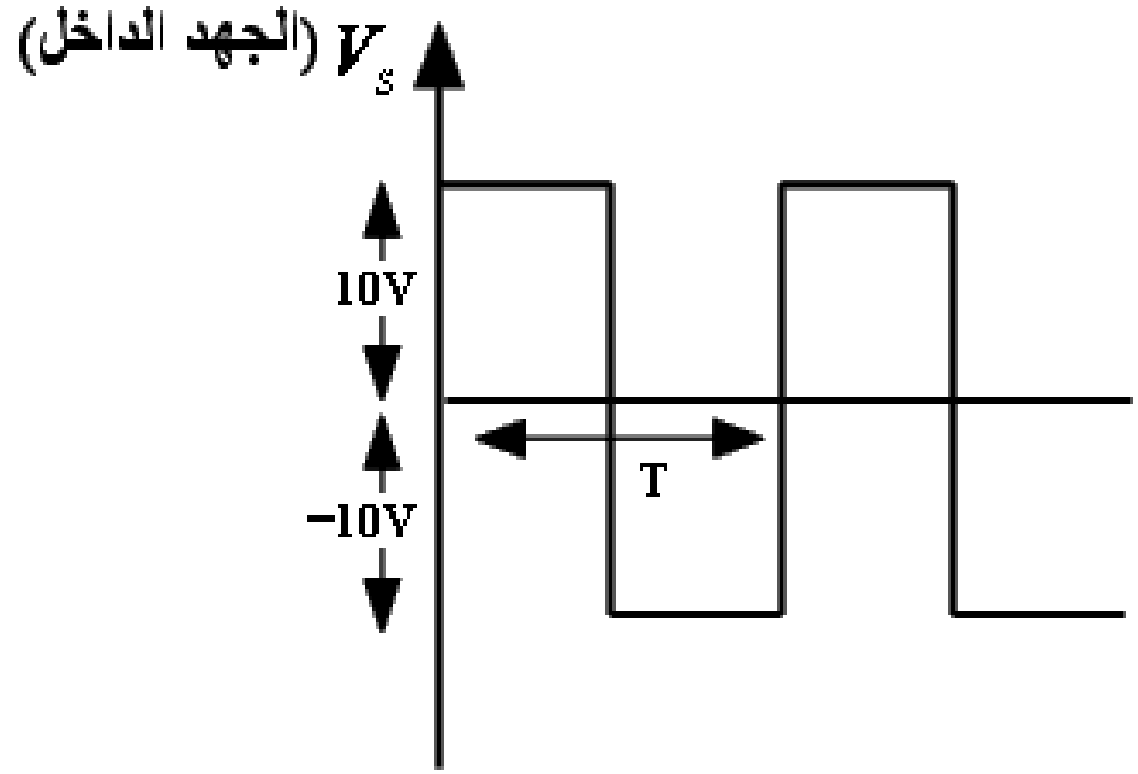
$$\boldsymbol{I = \frac{V_S}{R_L + R_1}} \quad \boldsymbol{, V_L = I\, R_L}$$

$$V_L = \frac{R_L}{R_L + R_1} V_S$$

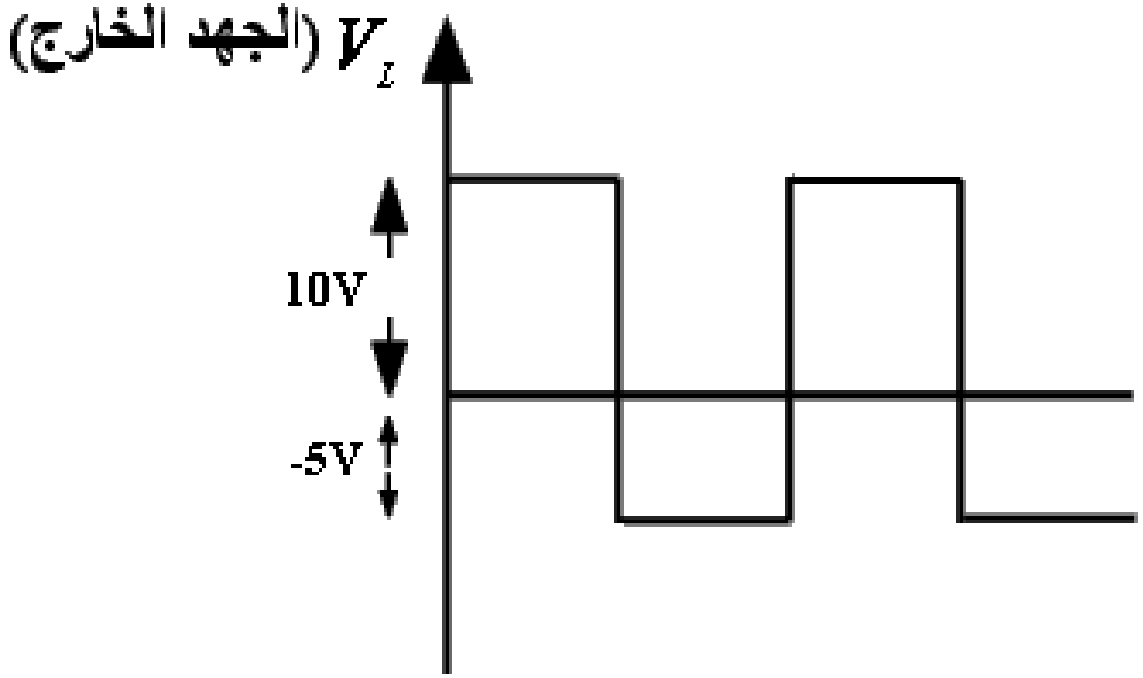
$$= \frac{10}{10+10}\left(-10\right) = -5V$$

وبالتالي يكون الشكل الموجي الناتج (شكل ب)

الثنائي المثالي



شكل (أ)



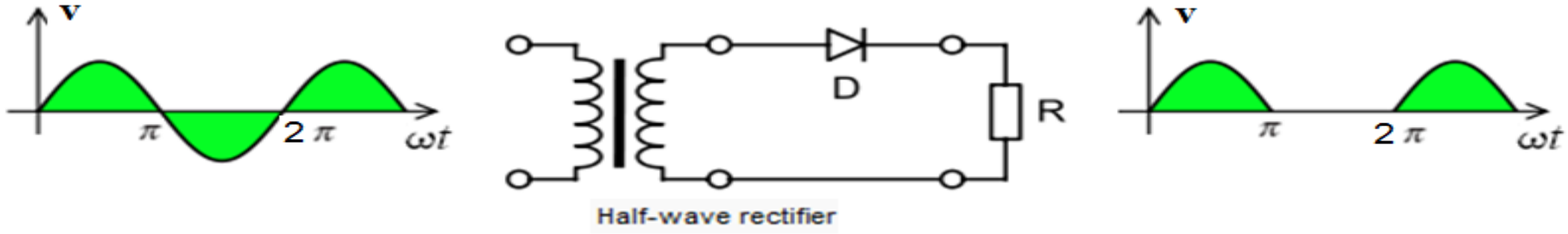
شكل (ب)

استخدام الوصلة الثنائية (الديود) فى تقويم التيار المتناوب

تستخدم الوصلة الثنائية (الديود) فى تقويم التيار المتناوب حيث أن لها القدرة على تمرير التيار الكهربائي فى اتجاه دون الآخر.

القيمة المتوسطة لموجة توتر خرج مقوم نصف موجة

Average V output of half -wave Power supply circuit



Half-wave rectifier

The output DC voltage of an ideal half-wave rectifier is: $V_{dc} = V_{av} = \frac{2V_m}{2\pi} = \frac{V_m}{\pi}$

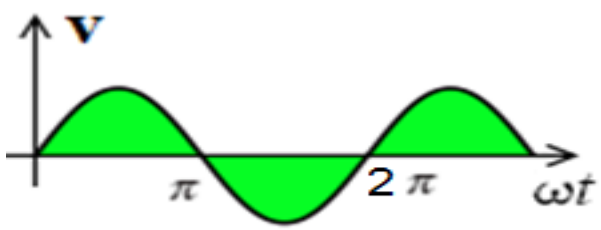
التوتر المستمر الخارج يساوي القيمة المتوسطة لموجة الخرج

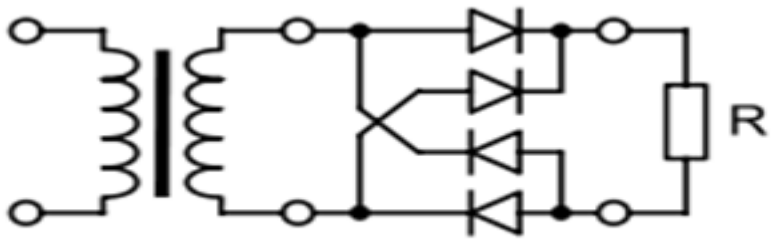
Alternative method

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\left(\int_0^{\pi} V_m \sin\alpha \, d\alpha + \int_{\pi}^{2\pi} 0\right) = \frac{V_m}{2\pi}\left[-\cos\pi + \cos 0\right] = \boxed{\frac{V_m}{\pi}}$$

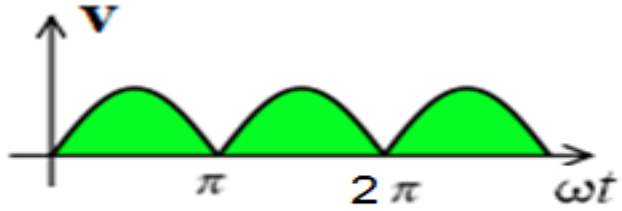
القيمة الوسطية لتوتر خرج مقوم موجة كاملة

Average V output of full-wave Power supply circuit





full-wave rectifier using 4 diodes.



The output DC voltage of an ideal full-wave rectifier is: $V_{dc} = V_{av} = \frac{2V_m}{\pi}$

Alternative method

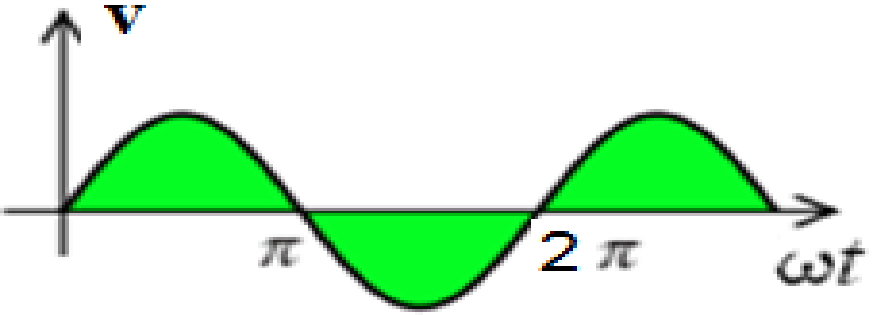
$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\left(\int_0^{\pi} V_m \sin\alpha \, d\alpha + \int_{\pi}^{2\pi} V_m \sin(\alpha - \pi) \, d\alpha\right)$$

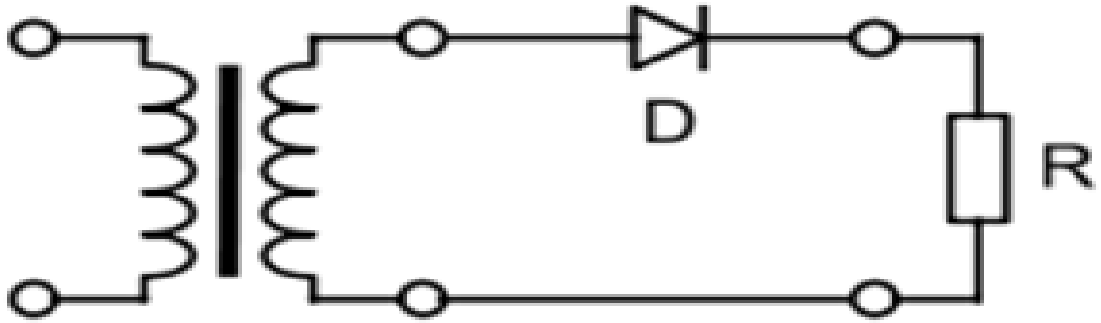
$$= \frac{V_m}{2\pi}\left[-\cos\pi + \cos 0 - \cos(2\pi - \pi) + \cos(\pi - \pi)\right] = \frac{4V_m}{2\pi} = \frac{2V_m}{\pi}$$

Or

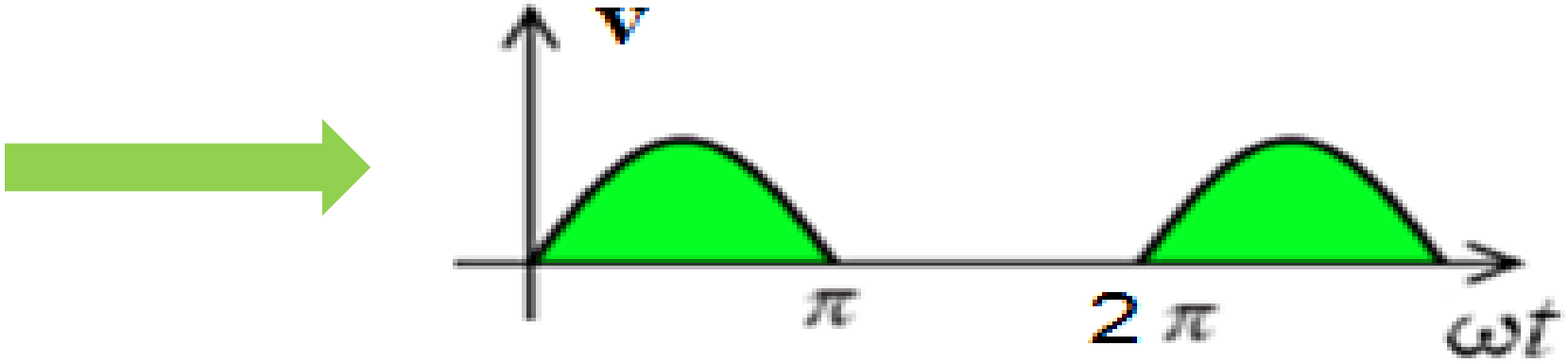
$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\left(2\int_0^{\pi} V_m \sin\alpha \, d\alpha\right) = \frac{2V_m}{2\pi}\left[-\cos\pi + \cos 0\right] = \boxed{\frac{2V_m}{\pi}}$$

مقوم نصف موجة



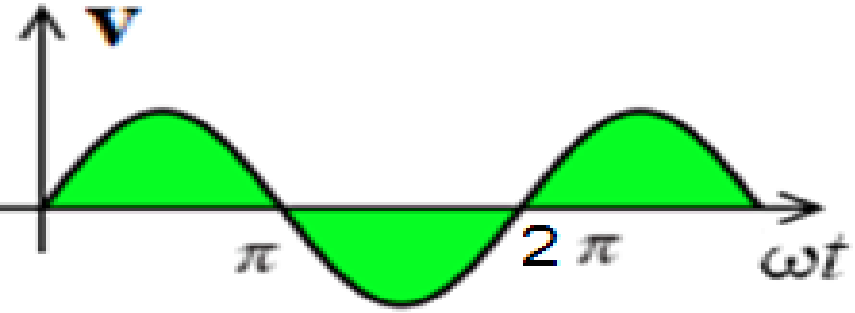


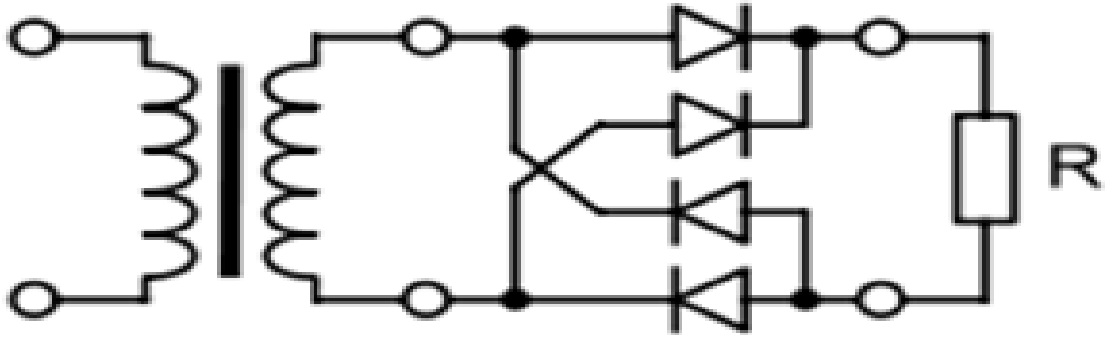
Half-wave rectifier



$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t \, d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} 0 . d(\omega t)}{2\pi}}$$

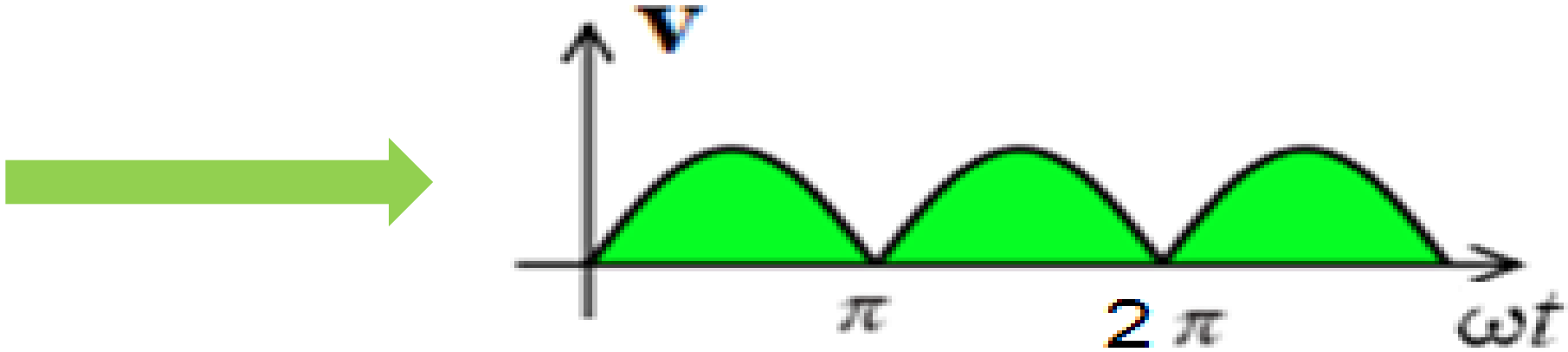
$$= V_m \left[\frac{1}{4\pi} \int_0^{\pi} (1 - \cos 2\,\omega t) . d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V_m}{2}$$





full-wave rectifier using 4 diodes.

مقوم موجة كاملة



$$V_{rms} = \sqrt{\frac{2.\int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t \, d(\omega t)}{2\pi}}$$

$$= V_m \left[\frac{2}{4\pi}\int_0^{\pi} (1 - \cos 2\,\omega t).d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

الترانزيستورات transistors

هناك نوعان رئيسان منه هما: الترانزيستور ثنائي القطبية ذو الوصلة bipolar junction transistor (BJT)، والتـرانزيستور ذو التأثير الحقلي field effect transistor (FET) وسنعرض الأول فقط.

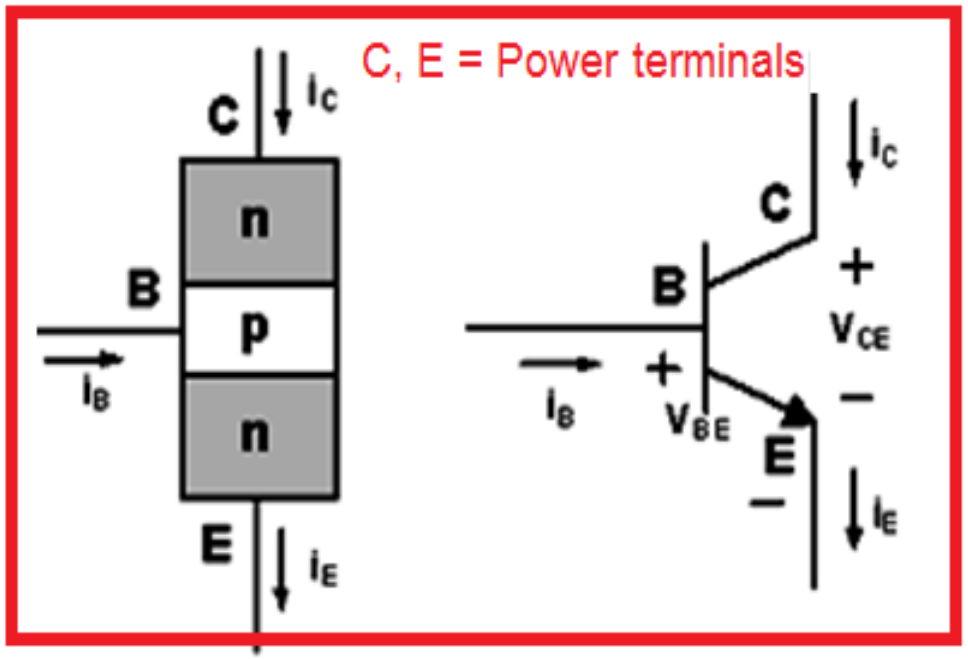
يعمل الترانزستور إما **كمضخم amplifier**

أو **كقاطع إلكتروني electronic switch**

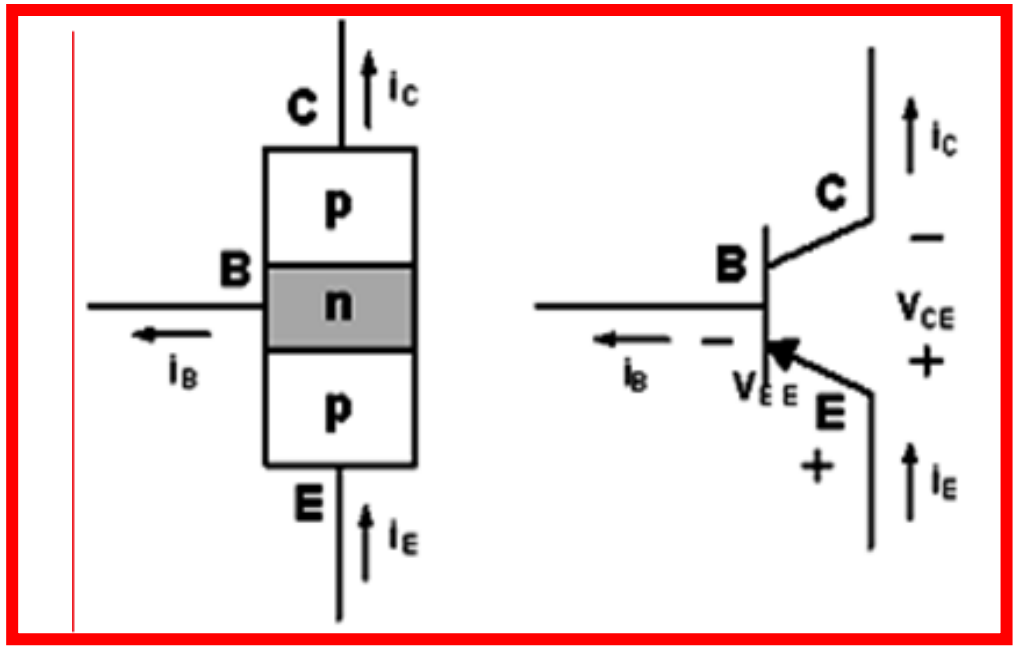
الترانزيستور ثنائي القطبية ذو الوصلة BJT: (Bipolar Junction Transistor)

تم اكتشاف النموذج البدائي لهذا الترانزيستور في الخمسينيات، إلا أن التطوير النهائي والمعروف في الوقت الحاضر تحقق في عام ١٩٥٦ على أيدي الباحثين بأردن Barden وبراتن Brattain وشوكلي Shockley الذين حازوا جائزة نوبل في الفيزياء نتيجة لابتكارهم وتطويرهم لهذه الوسيلة الإلكترونية .

يتشكل الترانزيستور BJT من بلورة من السيليكون silicon أو الجرمانيوم. تستخدم طريقة تقنية في شروط حرارية مناسبة لوضع طبقة من السيليكون نوع n بين طبقتين من السيليكون نوع p ، لنحصل بذلك على ترانزيستور من النوع pnp ، أو وضع طبقة من النوع p بين طبقتين من النوع n، فنحصل على ترانزيستور نوع npn . تدعى أطراف الترانزيستور الثلاثة: الباعث emitter ، والقاعدة base ، والمجمّع collector.



Schematic symbol of an npn, BJT



Schematic symbol of a pnp, BJT

يستخدم في الرمز الكهربائي للترانزيستور سهم على طرف الباعث يدل على اتجاه مرور التيار المستمر. ويكون اتجاه السهم إلى داخل الترانزيستور في النوع pnp، وخارجاً منه في النوع npn وتكون كثافة حوامل الشحنات في منطقة الباعث مرتفعة، بينما تكون سماكة منطقة القاعدة رقيقة، ويكون سطح منطقة المجمع عريضاً ليكون استقباله للشحنات المنطلقة من منطقة الباعث أكثر فاعلية.

لكي يعمل الترانزيستور BJT عمل مضخم يجب تطبيق جهد انحياز أمامي مستمر على وصلة الباعث - القاعدة، وانحياز عكسي على وصلة المجمع - القاعدة، عند ذاك تسبب التغيرات البسيطة في تيار القاعدة (دخل الترانزيستور) مرور تيار أعلى في مجمع الترانزيستور (دارة الخرج). وينشأ كبر التيار في الخرج نتيجة التفاوت الكبير في تركيز الشحنات الأساسية في طبقتي الباعث والقاعدة. وعلى هذا الأساس يحصل تكبير التيار في هذا النوع من الترانزيستورات وبالتالي تكبير الجهد وتكبير الاستطاعة.

ولكي يعمل الترانزيستور قاطعاً إلكترونياً (في الدارات الرقمية والتمثيلية) تكون وصلة المجمع - القاعدة بحالة انحياز عكسي، وتترك القاعدة حرة ليطبق عليها واحد من مستويي جهد V ، أي انحياز عكسي لوصلة الباعث - القاعدة، ويكون عندها الترانزيستور بحالة قطع cut-off ، أو تطبيق جهد قاعدة أمامي عالٍ high level كاف لنقل الترانزيستور إلى حالة الإشباع saturation أي حالة الوصل (on state).

END OF LECTURE