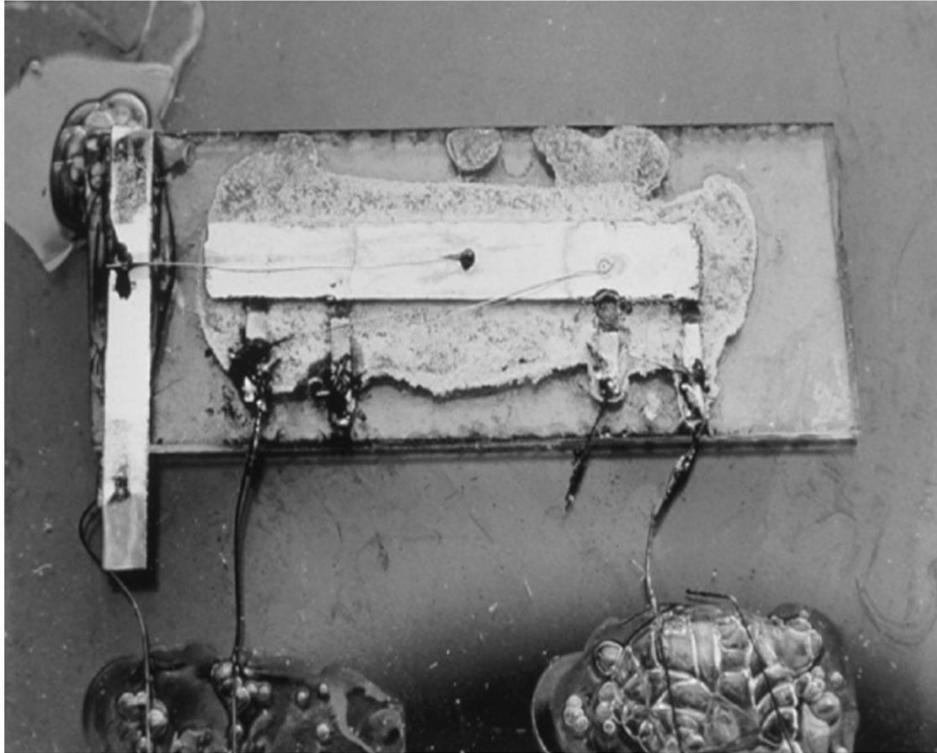


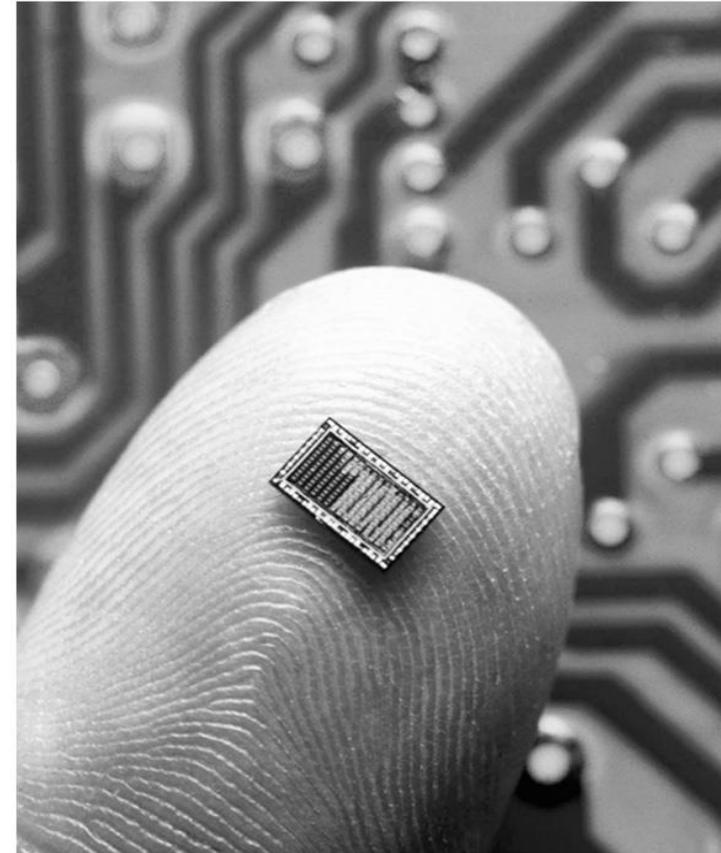
أسس الالكترونيات Basic-Electronics

مدرس المقرر
د. السموءل صالح





A- The first integrated circuit, a phase-shift oscillator, invented by Jack S. Kilby in 1958.



B - Computer chip.



☀️+ Introduction General

☀️+ Semiconductors

- Conductors, Semiconductors, Isolator.
- N-Type & P-Type Semiconductors.
- Drift & Diffusion currants.
- Electric conductivity.
- Majority & minority Carriears.
- Fermi leveles

☀️+ Semiconductors Diodes

- Junction Semiconductors Types (PN and NP).
- Forward Biased PN Junction.
- NP junctions Capacity and resistance.
- General equation.
- Diode characteristic.
- Reverse Biased PN Junction
- Equivalent circuits.
- Load–Line Analysis.

☀️+ Diodes Types and Applications

- Clippers Diodes
- Rectification Diode.
- Zener Diodes
- Logic Gates Circuit
- Light Diodes
- Tunnel & Backward Diodes.
- Capacity Diode

☀️+ Bipolar Junction Transistor (BJT)

- BJT Construction.
- BJT Operation modes:
 - Commun Base.
 - Commun Emitter.
 - Commun Colector.
- Biasing circuits.
- Equivalent circuits.
- BJT Operation.
- DC & AC Analysis.
- Transistor Application.



فيزياء أنصاف النواقل Semiconductor Physics



Atomic structure

بنية الذرة

ملاحظات:

١- تتكون الذرة من نواة مشحونة بشحنة موجبة (بروتونات + ونيوترونات عديمة الشحنة) وإلكترونات سالبة تدور حولها على مدارات.

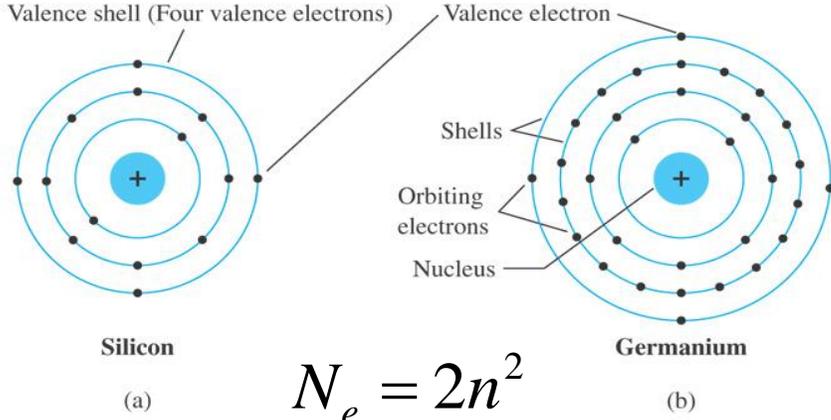
٢- عدد الإلكترونات يساوي لعدد البروتونات (العدد الذري) ومتساويان بالشحنة : $q = 1.6 \cdot 10^{-19} C$.

٣- يكون ترتيب الإلكترونات على المدارات خاضع للقانون التالي: $N_e = 2n^2 = 2, 8, 18, 32 \dots$

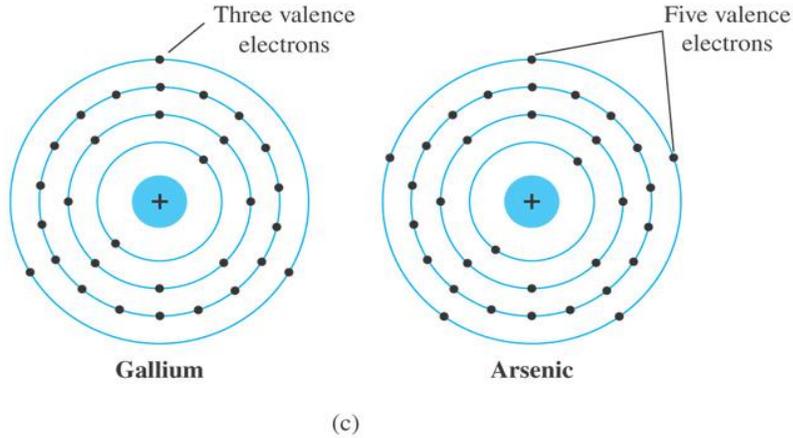
٤- إلكترونات المدار الأخير تسمى بالإلكترونات التكافؤ *Valence Electrons* وتعتبر عن أنصاف النواقل.

٥- الإلكترونات الأقرب للنواة تكون قوة ارتباطها بها أكبر من تلك الأبعد (الإلكترونات التكافؤ ارتباطها الأقل).

-- من الشكل يمكن ملاحظة أن إلكترونات التكافؤ لذرة الجرمانيوم تحتاج لطاقة أقل للتحرر من مدارها بالمقارنة مع ذرة السيلكون.



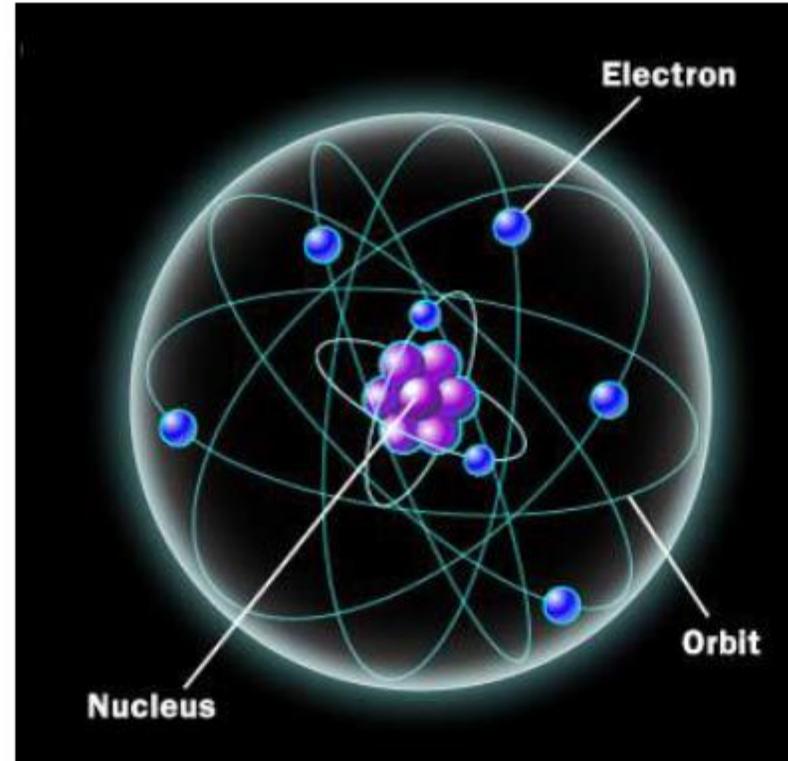
$$N_e = 2n^2$$



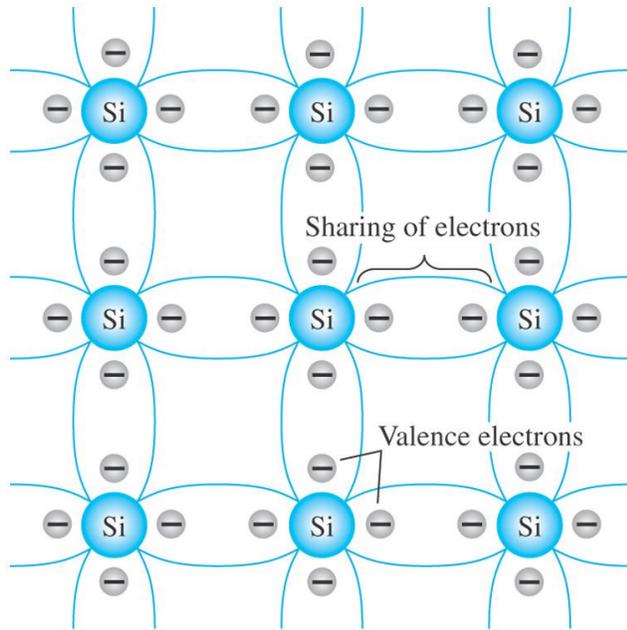
Atomic structure of (a) silicon; (b) germanium; and (c) gallium and arsenic.



Atom consists of electrons, protons, and neutrons



Covalent bonding



Covalent bonding of the silicon atom.

تشارك ذرات السيلكون من أجل الاستقرار للوصول إلى ٨ إلكترون على المدار الأخير

هذه الرابطة تجعل الإلكترونات التكافؤ قوية الارتباط بالذرة، مع ذلك بوجود طاقة خارجية مطبقة (حرارة، ضوء...) يمكن تفكيك هذه الروابط والحصول على إلكترونات حرة ضمن البنية الذرية، يؤدي لتغير المستويات الطاقية.

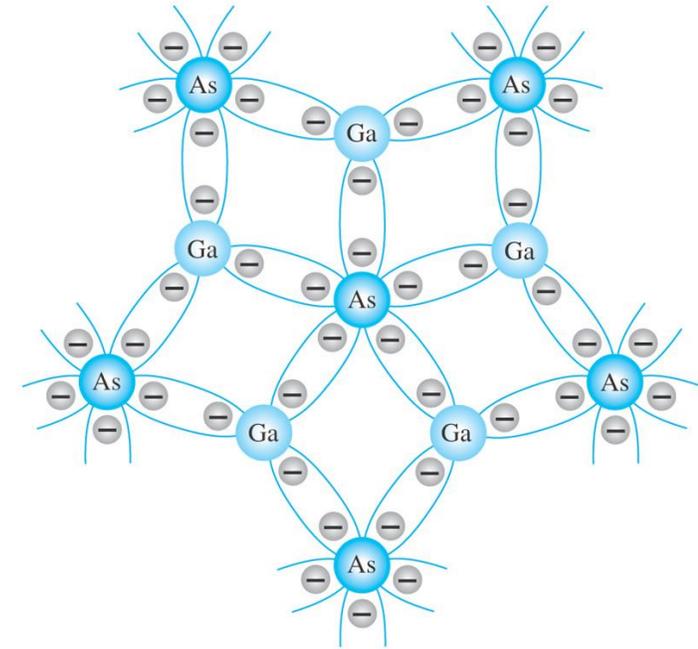
TABLE 1.1
Intrinsic Carriers n_i

Semiconductor	Intrinsic Carriers (per cubic centimeter)
GaAs	1.7×10^6
Si	1.5×10^{10}
Ge	2.5×10^{13}

TABLE 1.2
Relative Mobility Factor μ_n

Semiconductor	μ_n (cm ² /V·s)
Si	1500
Ge	3900
GaAs	8500

الرابطة المشتركة



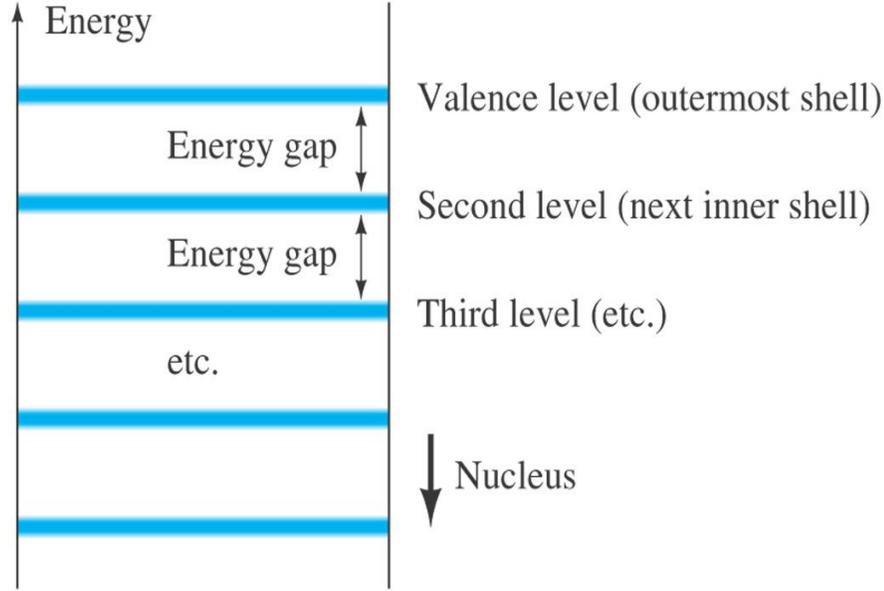
Covalent bonding of the GaAs crystal.

تشارك ذرات الزرنيخ مع الغاليوم من أجل الاستقرار للوصول إلى ٨ إلكترون أو أكثر على المدار الأخير

هذه الرابطة تجعل الإلكترونات التكافؤ قوية الارتباط بالذرة، مع ذلك بوجود طاقة خارجية مطبقة (حرارة، ضوء...) يمكن تفكيك هذه الروابط والحصول على إلكترونات حرة ضمن البنية الذرية، يؤدي لتغير المستويات الطاقية.



ملاحظات:



Energy levels:

Discrete levels in isolated atomic structures.

١- ضمن كل ذرة من البنية الذرية هناك مستويات طاقية عائدة لكل طبقة ولكل مدار، هذه المستويات تختلف من عنصر لآخر.

٢- تبدأ المستويات من مستوي التكافؤ (المدار الأخير) وتتجه باتجاه النواة، ينتج عن هذه المستويات ما يسمى بالفجوات الطاقية والتي يحتاج الإلكترون لطاقة ما ليتخطاها (إما مكتسبة أو مفقودة).

٣- الإلكترونات الحرة (المتحررة من مستوي التكافؤ) هي الإلكترونات التي تملك الطاقة الأكبر وهي التي تعبر عن ناقلية أو عدم ناقلية العنصر وتشكل حزمة النقل.

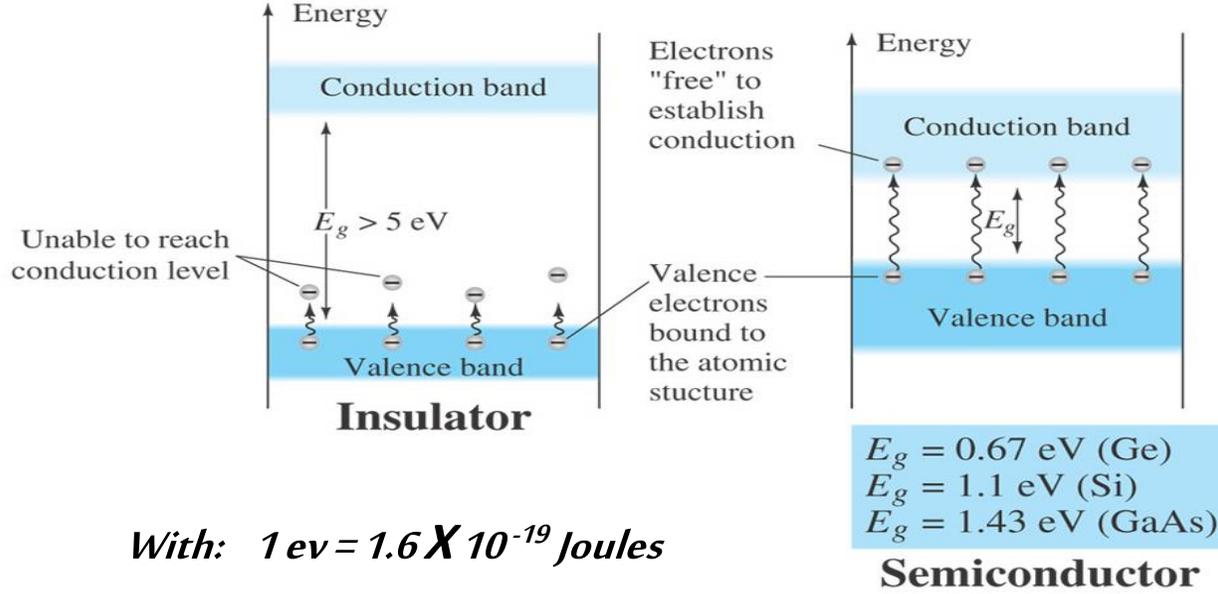
٤- الإلكترونات المقيدة (المرتبطة بالروابط الثنائية في البنية الذرية) منها الإلكترونات على المدار الأخير، تحتاج لطاقة خارجية لتتحرروهي التي تعبر عن حزمة التكافؤ.

٥- بين حزمة النقل وحزمة التكافؤ هناك منطقة الحزمة الممنوعة أو فجوة طاقية *Energy gap*، هذه المنطقة تحدد حسب عرضها عدد الإلكترونات التي تنتقل إلى حزمة النقل من حزمة التكافؤ وبالتالي تحدد ناقلية أو عازلية المادة.



Conductor, Insulator, Semiconductor

الناقل، العازل، نصف الناقل



ملاحظة: علل إلكترونات تكافؤ الجرمانيوم بالمقارنة مع السيلكون تحتاج لطاقة أقل لتخطي فجوة الطاقة.

conduction and valence bands of an insulator, a semiconductor, and a conductor.

- ** الفجوة الطاقية تختلف باختلاف نوع المادة بحيث تكبر في العازل (بحيث لا يستطيع إلكترون التكافؤ الوصول إلى حزمة النقل إلا بطاقة كبيرة) وتنعدم تقريبا في الناقل (لا يحتاج إلكترون التكافؤ إلى طاقة للوصول إلى حزمة النقل).
- ** بينما في المواد نصف الناقل نلاحظ أن إلكترون التكافؤ يحتاج إلى طاقة بسيطة (حرارية، ضوئية...) للوصول إلى حزمة النقل وبالتالي وجود تيار بسيط في الحالة الطبيعية وبدرجة حرارة الغرفة لكن غير متحكم بها.
- ** إذا هذه المواد يمكن تحويلها إلى مواد ناقلة بطرق عدة منها الإشابة

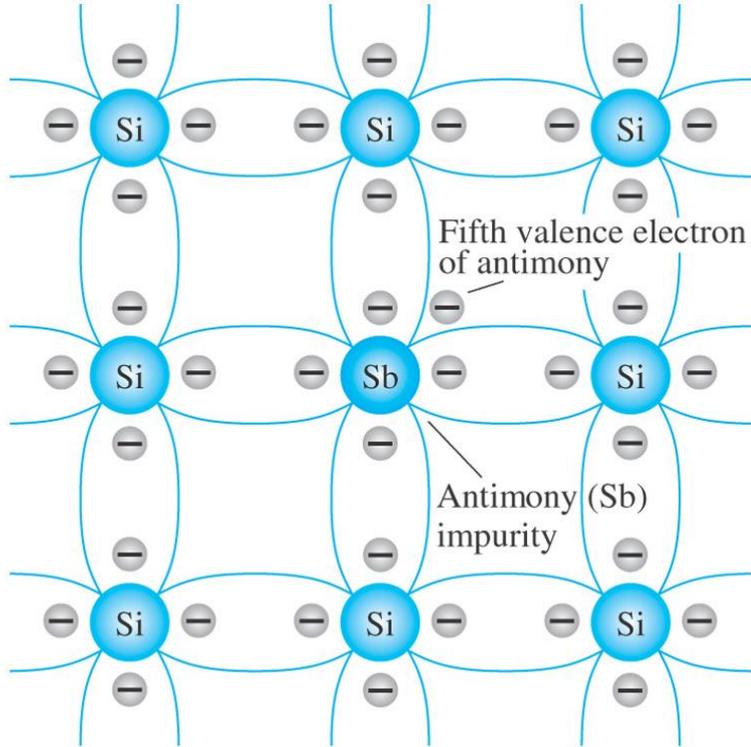


Impurity Semiconductor

أنصاف النواقل المشابه

٢- نوع P، P-Type

١- نوع N، N-Type: هناك نوعان من المواد نصف الناقله المشابه:



Antimony impurity in n-type material.

النوع N ، N-Type:

** نحصل على هذا النوع بإضافة أو حقن (إشابة) مادة خماسية التكافؤ مثل الفوسفور Sb أو الزرنيخ Ar ضمن المادة نصف الناقله السيلكون Si المادة النقية.

** باستخدام هذه الآلية تسعى ذرات الـ Si لتشكيل الروابط الثنائية سعياً للاستقرار وبالتالي إلكترونات التكافؤ تتشارك مع أربع إلكترونات من ذرات الـ Sb هذا سيؤدي لوجود إلكترون حر ضمن المادة المكونة الجديدة.

** المواد خماسية التكافؤ التي يشاب بها السيلكون تسمى بالمواد المعطية أو بالذرات المعطية Donors Atoms إذا ضمن المادة الجديدة N-Type سيكون لدينا عدد كبير من الإلكترونات الحرة سالبة الشحنة (تسمى بالحوامل الأكثرية) يتعلق عدد الإلكترونات الحرة المولدة بدرجة الإشابة أو كمية المادة المعطية التي حقنت.

** تبقى الروابط الثنائية موجودة ويمكن أن تتكسر عند أقل طاقة (درجة حرارة الغرفة أو نتيجة التصادم الناتج عن حركة الإلكترونات الحرة) لإعطاء إلكترونات تضاف للحوامل الأكثرية وفراغات مكان تحرر الإلكترون (يسمى ثقب) ويعبر عن الحوامل الأقلية وهي ذات الشحنة الموجبة.



Impurity Semiconductor

أنصاف النواقل المشابه

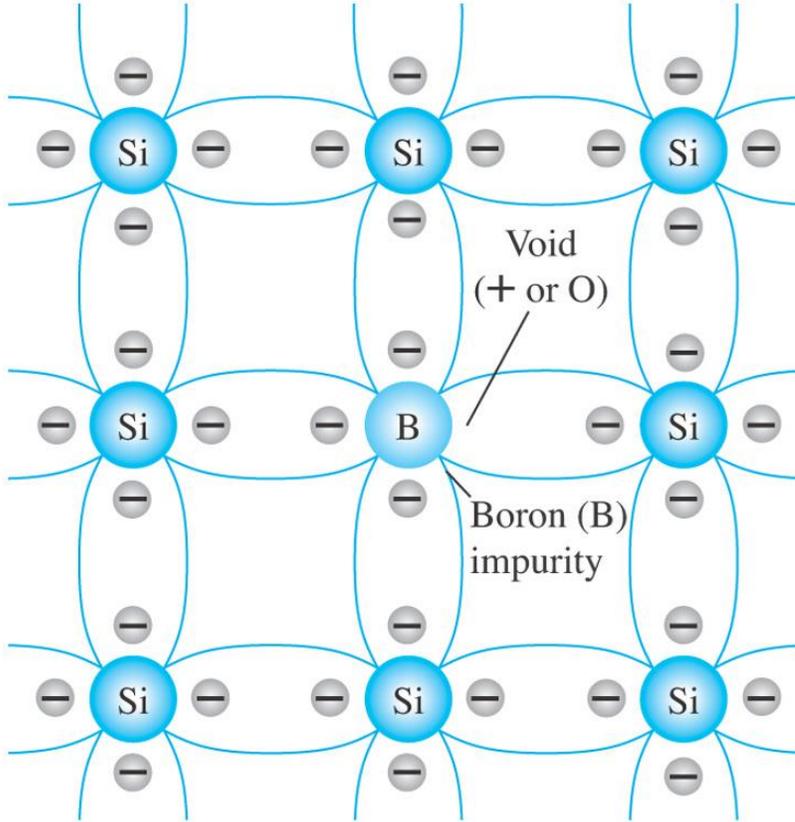
نصف الناقل نوع P ، P-Type:

** نحصل على هذا النوع بإضافة أو حقن (إشابة) مادة ثلاثية التكافؤ مثل البورون B أو الأنديوم In ضمن المادة نصف الناقله السيلكون Si المادة النقية.

** باستخدام هذه الآلية تسعى ذرات Si لتشكيل الروابط الثنائية سعياً للاستقرار و بالتالي إلكترونات التكافؤ تتشارك مع ثلاث الكترونات من ذرات B هذا سيؤدي لوجود مكان إلكترون فارغ (ثقب)، ضمن المادة الجديدة، يعبر عنه بدائرة ذات شحنة موجبة لأنها تعبر عن غياب الشحنة السالبة (الإلكترون).

** المواد ثلاثية التكافؤ التي يشاب بها السيلكون تسمى بالمواد الأخذة أو بالذرات الأخذة Acceptors Atoms إذا ضمن المادة الجديدة P-Type سيكون لدينا عدد كبير من الثقوب الحرة موجبة الشحنة (تسمى بالحوامل الأكثرية) يتعلق عددها بدرجة الإشابة أو كمية المادة المحقونة.

** تبقى الروابط الثنائية موجودة و يمكن أن تتكسر عند اقل طاقة (درجة حرارة الغرفة أو بنتيجة الثقوب) لإعطاء ثقوب موجبة الشحنة تضاف للحوامل الأكثرية وإلكترونات تعبر عن الحوامل الأقلية و ذات شحنة سالبة.

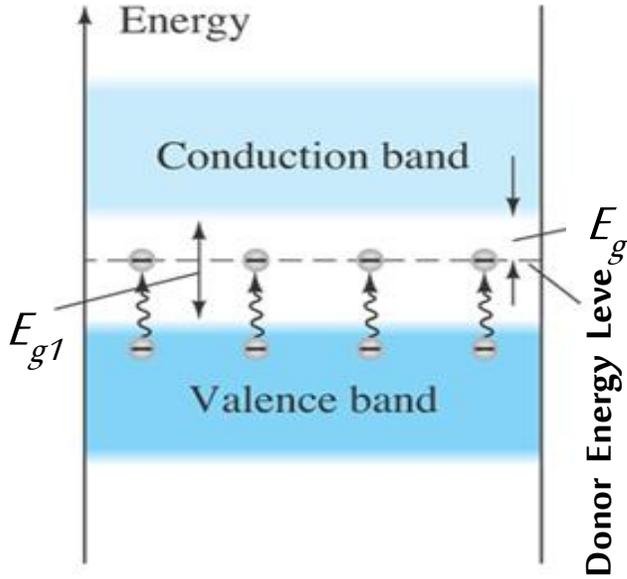


Boron impurity in p-type material.



Effect of impurities on the energy band

أثر الإشابة على حزم الطاقة



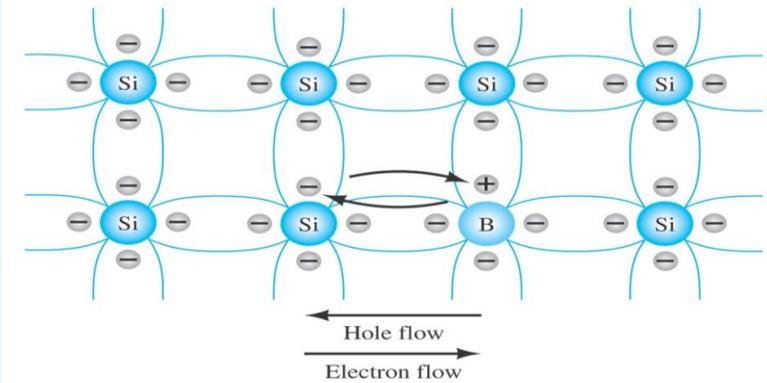
E_{g1} تعبر عن مستوى الطاقة للحزمة الممنوعة للمادة نصف الناقلة النقية.

E_g تعبر عن مستوى الطاقة للحزمة الممنوعة للمادة نصف الناقلة المشابه نلاحظ أن قيمته أصغر بكثير من مستوى الطاقة للمادة النقية.

-- بدرجة حرارة الغرفة ونتيجة حركة الإلكترونات الحرة تتولد إلكترونات جديدة وبالتالي زيادة في الحوامل الأكثرية كذلك الثقوب، هذا يؤدي إلى أن الإلكترونات تحتاج لطاقة بسيطة جدا حتى تصل لحزمة النقل وبالتالي تزداد ناقلية المادة الجديدة بشكل ملحوظ.

Effect of donor impurities on the energy band structure.

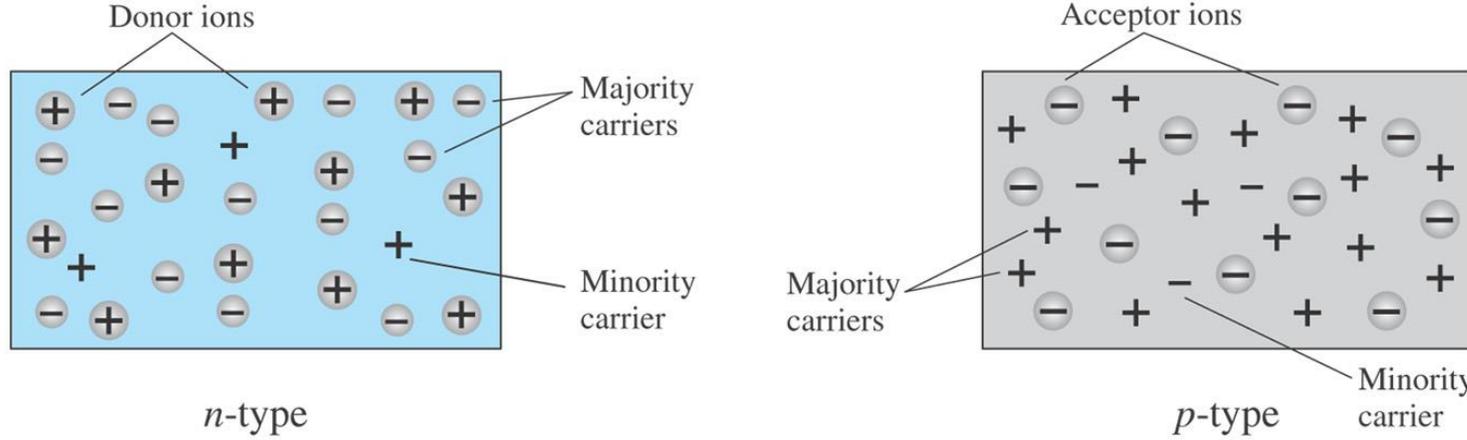
أثر الثقب في عملية النقل وتولد التيارات في المادة المشابه *P-Type*. وجود الثقب يؤدي لجذب إلكترون (من اجل تعويض الشحنة المفقودة) من رابطة تشاركيه للسيلكون يؤدي تولد ثقب جديد وهكذا ...



Electron versus hole flow.



Majority and Minority Carriers



حوامل الشحن الأكثرية والأقلية

++ الأيون هي الذرة التي فقدت إلكترون تتحول لأيون موجب والتي تكتسب الإلكترون تتحول لأيون سالب

++ الألكترونات الحرة في نصف الناقل النقي تساوي عدد الثقوب وهذه الألكترونات ناتجة عن طاقة صغيرة مطبقة في درجة حرارة الغرفة (ضوء، حرارة) أي: (عدد الثقوب) $n_i = p_i$ (عدد الألكترونات).

++ في نصف الناقل المشوب وبدرجة حرارة الغرفة لا يكون هناك تساوي $n \neq p$ بحيث يكون في المادة:

١- نوع N-Type (عدد الثقوب الحرة الناتجة عن تكسر الروابط) $n_n \gg p_n$ (عدد الألكترونات الحرة، حوامل أكثرية).

٢- نوع P-Type (عدد الثقوب، حوامل أكثرية) $n_p \ll p_p$ (عدد الألكترونات الحرة الناتجة عن تكسر الروابط).

٣- قانون فعل الكتلة: جداء التركيزين (الحوامل الأكثرية والأقلية) لأي مادة مشابهة يساوي الى مربع تركيز المادة النقية التوازنية وفق: $n_p \times p_p = n_n \times p_n = n^2$

٤- تحسب الحوامل الأقلية في كل نوع وفق: عدد الثقوب في النوع n: $p_n = \frac{n^2}{n_n}$ وعدد الألكترونات في P هو: $n_p = \frac{n^2}{p_p}$



** تيار الجرف، Drift Cu :

-- التيار الناتج عن تطبيق حقل خارجي ويمثل جرف الإلكترونات باتجاه منظم وذلك حسب قطبية الحقل المطبق ويزول بزواله. عند تطبيق الجهد الخارجي V سيتولد حقل كهربائي معاكس شدته E (volt/m) وبالتالي:

١- ستنجرف الإلكترونات بعكسه بالسرعة الجرفية التالية: $v_n = -\mu_n E$ (m/sec) حيث μ_n تمثل القابلية الحركية للإلكترونات وتقدر بـ $(m^2/volt.Sec)$. ← كثافة تيار الجرف الناتجة (اتجاهه عكس جهة الإلكترونات) تعطى بـ: $J_{ndrift} (A/m) = \rho_n v_n$ حيث $\rho_n = -nq$ تمثل الكثافة الحجمية للإلكترونات وتساوي لتركيز الإلكترونات في واحدة الحجم n مضروبا بشحنة الإلكترون $-q$ or $-e$ ← تصبح علاقة كثافة التيار بالشكل: $J_{ndrift} = -nq v_n$

٢- ستنجرف الثقوب بجهته بالسرعة الجرفية التالية: $v_p = \mu_p E$ (m/sec) حيث μ_p تمثل القابلية الحركية للثقوب وتقدر بـ $(m^2/volt.Sec)$ ← كثافة تيار الجرف الناتجة عن حركة الثقوب (اتجاهه مع جهة الثقوب) تعطى بـ: $J_{pdrift} (A/m) = \rho_p v_p$ حيث $\rho_p = pq$ تمثل الكثافة الحجمية للثقوب وتساوي لتركيز الثقوب في واحدة الحجم p مضروبا بشحنة الثقب التي تساوي قيمة شحنة الإلكترون ولكن بإشارة موجبة q or e ← تصبح علاقة كثافة التيار بالشكل: $J_{pdrift} = pq v_p$ إذا تيار الجرف الكلي يعطى بـ:

$$J_{Totaldrift} = J_{ndrift} + J_{pdrift}$$

$$J_{Totaldrift} = -nq v_n + pq v_p = (nq \mu_n + pq \mu_p) E = \sigma_{Total} E = (\sigma_n + \sigma_p) E$$

حيث أن σ_{Total} تسمى الناقلية النوعية الكلية وتقدر بـ Ωm^{-1}

يمكن مناقشة حالات الناقلية الكهربائية في نصف الناقل النقي والمشوب؟



** تيار التسريب أو الانتشار، Diffusion Cu:

++ نتيجة اختلاف تراكيز حوامل الشحنة سواء كانت الإلكترونات أم الثقوب، تتسرب هذه الحوامل من أماكن التراكيز المرتفعة إلى مناطق التراكيز المنخفضة مشكلة تيارات تتعلق بتدرج grad التركيز. يعطى هذا التيار ب:

$$J_{diff} = -D grad \rho$$

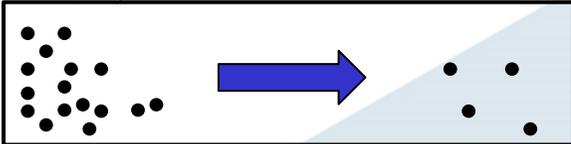
++ الإشارة السالبة تعني أن الانتقال يحدث من التراكيز المرتفعة إلى المنخفضة.

++ D تمثل ثابت التسرب أو الانتشار ويتعلق بدرجة الحرارة ويقدر (m^2/sec) بـ D_n حيث D_p يمثل ثابت تسرب الإلكترونات و D_p

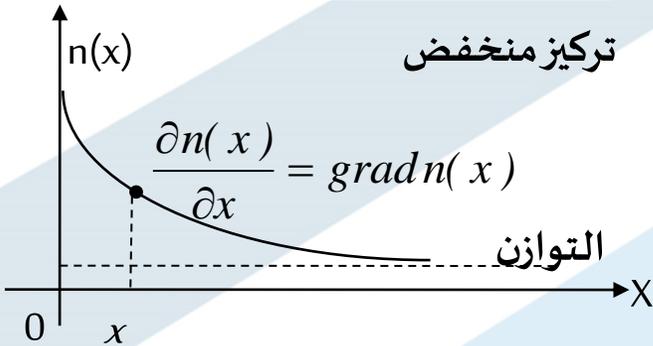
للثقوب ويعطى حسب علاقة إنشتاين التالية: $V_T = \frac{KT}{q} = \frac{T}{11600}$ حيث: $K=1,38 \times 10^{-23} J/K$ هو ثابت بولتزمان

T درجة الحرارة المطلقة و V_T الكمون الحراري ويساوي في درجة حرارة الغرفة $T=300K$ إلى $V_T=0.026v$

تركيز عال



تركيز منخفض



++ ρ تمثل الكثافة الحجمية للشحنة وتساوي كما رأينا إلى $\rho_n = -nq$ للإلكترونات و $\rho_p = pq$ للثقوب.

++ grad يمثل التدرج على المحاور المتعامدة ولكن هنا سنكتفي بالتدرج على محور واحد وهو x وبالتالي يمكن أن نكتب قيمة هذا التيار بالنسبة لكل من الإلكترونات و الثقوب:

$$J_{ndiff} = qD_n \frac{\partial n}{\partial x} \quad \text{and} \quad J_{pdiff} = -qD_p \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$J_{diff} = J_{ndiff} + J_{pdiff} = qD_n \frac{\partial n}{\partial x} - qD_p \frac{\partial p}{\partial x}$$

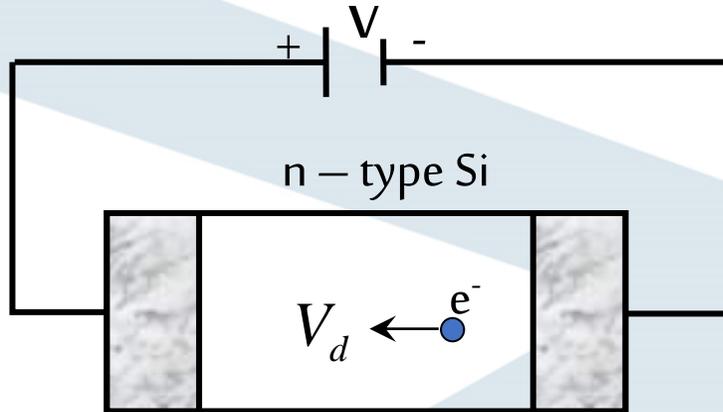
$$J = J_{ndrft} + J_{pdrft} + J_{ndiff} + J_{pdiff}$$

تيار التسرب الكلي يعطى بـ:

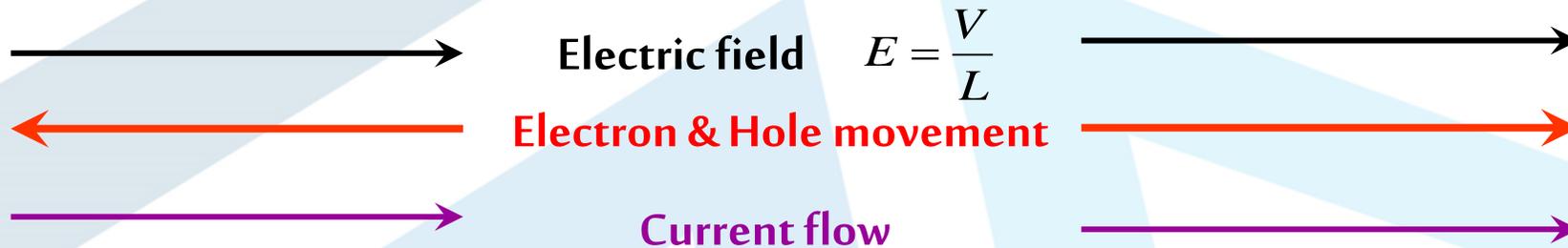
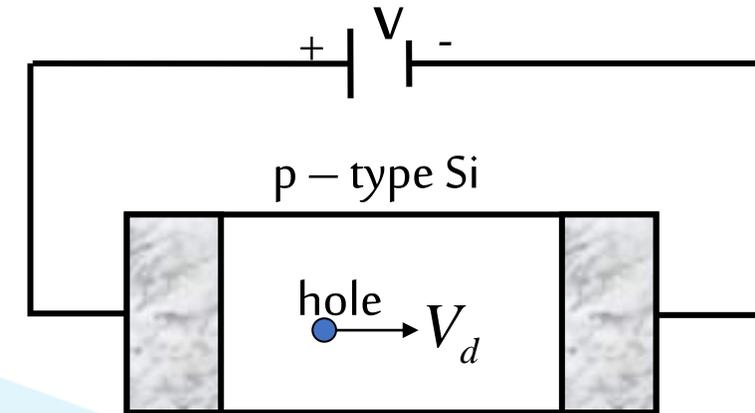
كثافة التيار الكلية للجرف و التسرب الكلي (الحالة العامة) يعطى بـ:



n - type Si



p - type Si



Current Carriers are mostly Electrons.

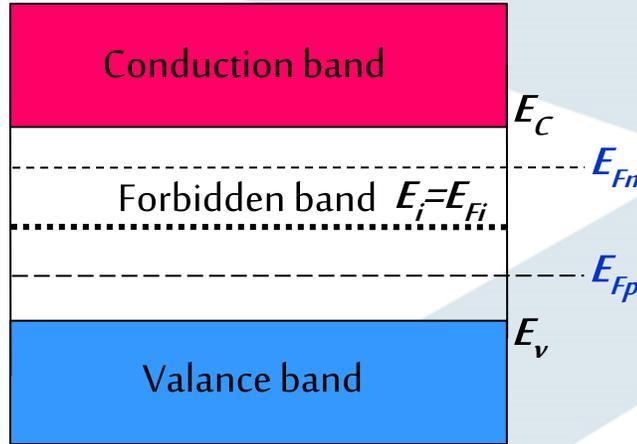
تكون حوامل التيار في المعظم الكترولونات



Fermi Level in Semiconductor

مستوي فيرمي في نصف الناقل النقي والمشاب

مستوي فيرمي: هو مستوي اعتباري يفصل بين مستوي الطاقة العظمى (الممتلئة) والمستوي الفارغ (لا يحوي إلكترون) وذلك ضمن الفجوة الطاقية، بمعنى آخر يعبر عن أعلى طاقة يمكن أن توجد في هذه المادة وبدرجة حرارة الغرفة وتكون جميع مستويات الطاقة الأصغر من مستوي فيرمي ممتلئة بالالكترونات، اما المستويات الأعلى فتكون فارغة (لا تحوي الالكترونات).



١- نصف الناقل النقي: لدينا هنا المساواة التالية $n_o = p_o = n_i$ و $N_V = N_C$ بالتالي $n_o \cdot p_o = n_i^2$ لاحظ الشكل:

حيث E_{Fi} يمثل مستوي فيرمي في المادة النقية و هو ينطبق على منتصف الحزمة الممنوعة ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$E_{Fi} \approx \frac{E_V + E_C}{2}$$

٢- نصف الناقل المشاب: لا يتساوى عدد الحوامل الأكثرية مع الأقلية و بالتالي سينزاح مستوي فيرمي عن منتصف الحزمة الممنوعة إما للأعلى في النوع N-type لان عدد الالكترونات أكثر أو للأسفل في ال P-Type لان عدد الثقوب أكثر.

:P-type

$$O \uparrow \uparrow \& e \downarrow \downarrow \Rightarrow p_{O,p} \uparrow \uparrow \Rightarrow E_F \text{ decrease to V.B} \Rightarrow E_{FP} < E_F$$

بالنتيجة ينزاح مستوي فيرمي نحو الأسفل باتجاه حزمة التكافؤ.

:N-type

$$e \uparrow \uparrow \& O \downarrow \downarrow \Rightarrow n_{O,n} \uparrow \uparrow \Rightarrow E_F \text{ increase to C.B} \Rightarrow E_F < E_{Fn}$$

بالنتيجة ينزاح مستوي فيرمي نحو الأعلى باتجاه حزمة النقل.

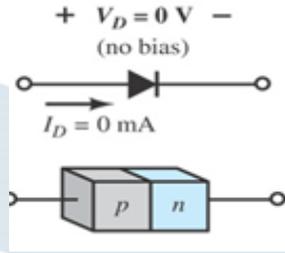


ألثنائيات نصف الناقله

Semiconductor Diodes

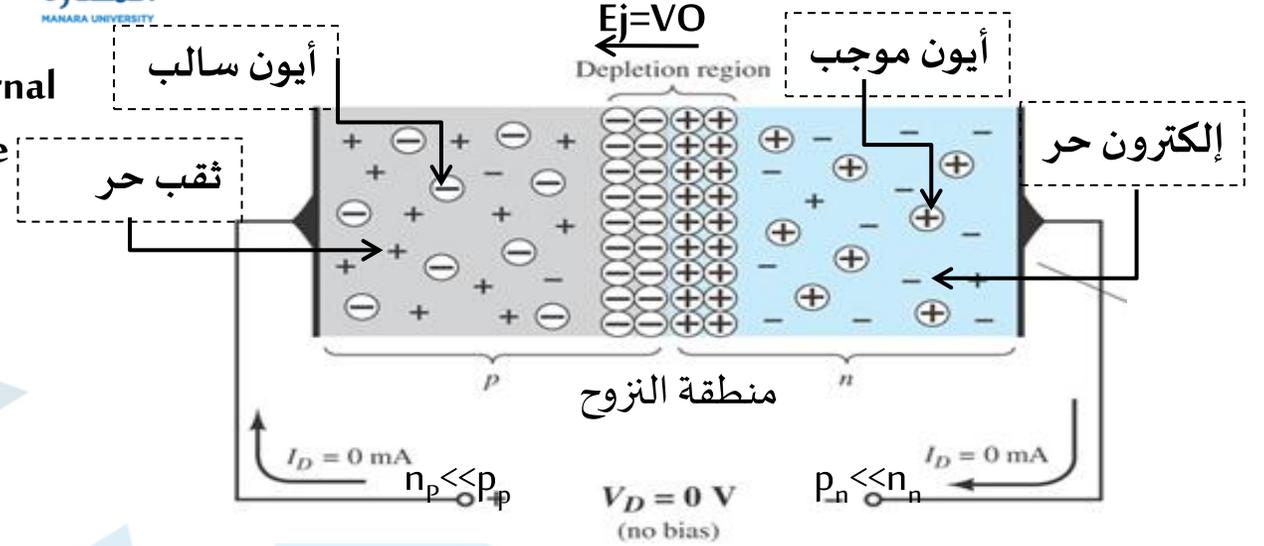


Semiconductor Junctions (Diod)



Diode symbol, with the defined polarity and the current direction

A p–n junction, An internal distribution of charge



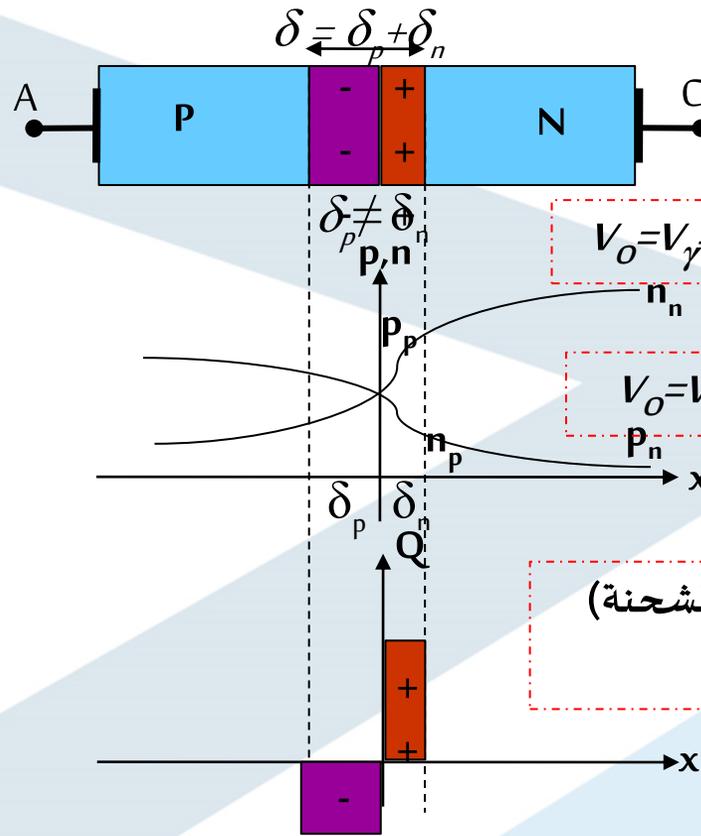
الأنواع:
متجانس: نفس نوع المادة Si, Si or Ge, Ge.
غير متجانس: مادتين مختلفتين Si, Ge.
معدن-نصف ناقل

- لحظة الوصل تكون حوامل الشحن والايونات موزعة بشكل عشوائي (عدم توازن) ومختلفة التراكيز، بالتالي تبدأ عملية الانتشار وتولد تيارات الانتشار للثقوب والالكترونات بحيث تتجه الالكترونات المنطقة N إلى P لتتحد مع الثقوب، وثقوب المنطقة P تقوم بالعكس. (كذلك الأمر بالنسبة للحوامل الأقلية) عملية الانتشار تأخذ منحى أسي يتعلق بالزمن والمسافة.
- تستمر الحركة حتى يصل المتصل إلى التوازن وتنشأ المنطقة المجردة (من الشحن ولكن تحوي على الايونات) أو منطقة النزوح، هذه المنطقة متواجدة في كل من القطعتين، يختلف العرض في كل منطقة حسب درجة الإشابة (هنا العرض متساوي لأن درجة الإشابة في كلا القطعتين متساو، يتشكل ضمنها حقل كهربائي شدته E اتجاهه موضح وهو الذي يمنع حركة عبور كل من الثقوب والالكترونات.
- عرض هذه المنطقة يتناسب عكسا مع درجة الإشابة كلما زادت الإشابة نقص العرض وبالعكس.
- الفترة الزمنية التي يقضيها الإلكترون أو الثقب من لحظة ولادته حتى لحظة اتحاده مع نقيضه تسمى بزمن حياة الجسم.

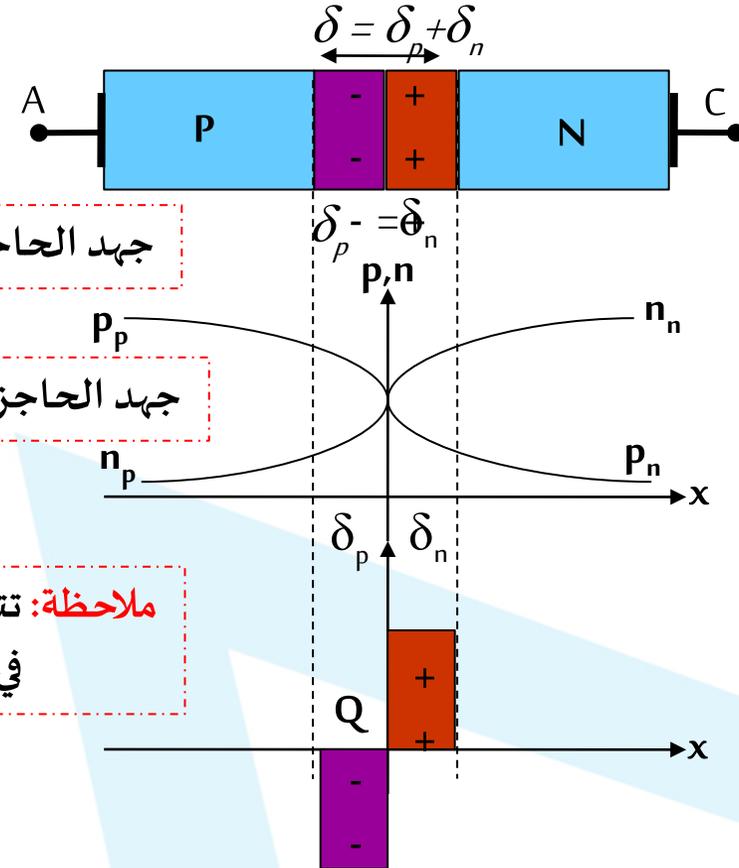


المتصل نصف الناقل (الثنائي) المتناظر وغير المتناظر

٢- المتصل PN غير المتناظر في حالة التوازن



١- المتصل PN المتناظر في حالة التوازن



كثافة الالكترونات في المادة نوع N أكبر من كثافة الثقوب في P أي أن $\delta_p > \delta_n$

كثافة الالكترونات في المادة نوع N يساوي كثافة الثقوب في P أي أن $\delta_p = \delta_n$

*_ عندما $x=0$ يكون $p_p = n_n = 0$ وعندما $x = \pm \delta$ تكون كثافة حوامل الشحن متساوية في المتصل المتناظر $p_p = n_n$ أو غير متساوية في المتصل غير المتناظر.

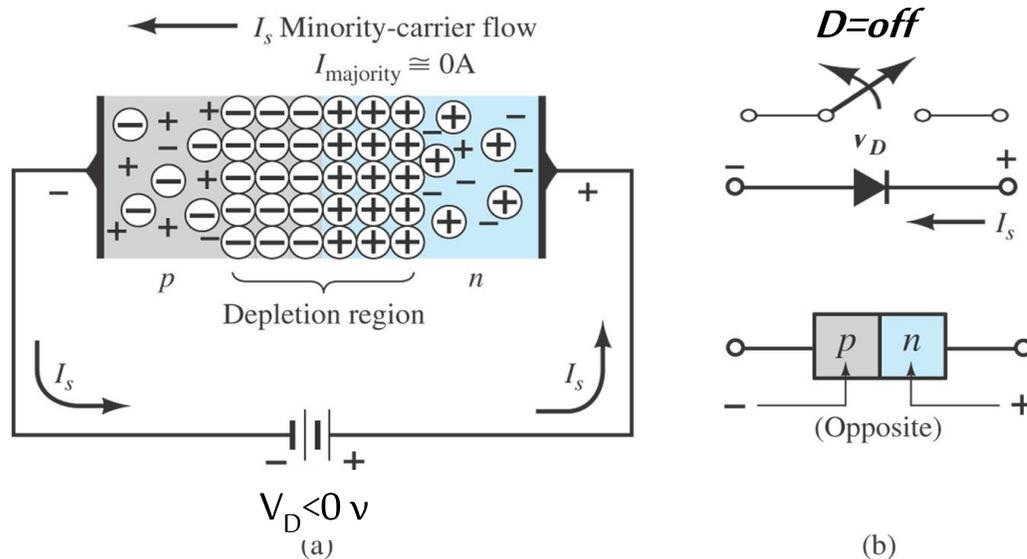


P-N Junction Bias

انحياز المتصل (الثنائي PN)

الانحياز العكسي للمتصل Reverse-Bias Condition:

- يتم بتطبيق جهد خارجي لدعم حازر الكمون (نفس الاتجاه) للمنطقة المجردة وبالتالي إلكترونات النوع (*n-type* الحوامل الأكثرية) تنجذب إلى القطب الموجب اما ثقب النوع *p-type* تنجذب إلى القطب السالب.
- زيادة في عرض هذه المنطقة وتصبح خالية من الشحن ولكن تحوي على الايونات فقط وهذا يمنع مرور حوامل الشحن في الاتجاهين لأنها تحمل طاقة اقل ولا يحصل إعادة الاتحاد.



Reverse-biased p-n junction. (a) Internal distribution of charge under reverse-bias conditions; (b) reverse-bias polarity

- يمر تيار عكسي صغير جدا I_s (يسمى بتيار التسريب العكسي او الحراري) مكون من بعض الحوامل الأقلية التي وجدت في المنطقة المجردة وكذلك الالكترونات والثقوب ذات الحركة الكبيرة والتي يساعدها كبر الحقل الكهربائي للمنطقة المجردة في عبورها، لتتحد مع الايونات الموجبة والسالبة .
- تزداد قيمة المقاومة العكسية للمتصل R_R بحيث تقدر بالميجا اوم .

-- التيار العكسي يتعلق بدرجة الحرارة كما يلي:

تكسير للروابط، إذا حوامل الشحن تزداد وفق:

$$T \uparrow \Rightarrow \text{Electron} \uparrow \Rightarrow I_s \uparrow \uparrow$$

- زيادة الجهد العكسي إلى قيم كبيرة يؤدي إلى حدوث ظاهرة الانهيار في المتصل ويمر تيار عكسي كبير جدا ويحدث ما يسمى بالانهيار سندرسه لاحقا.

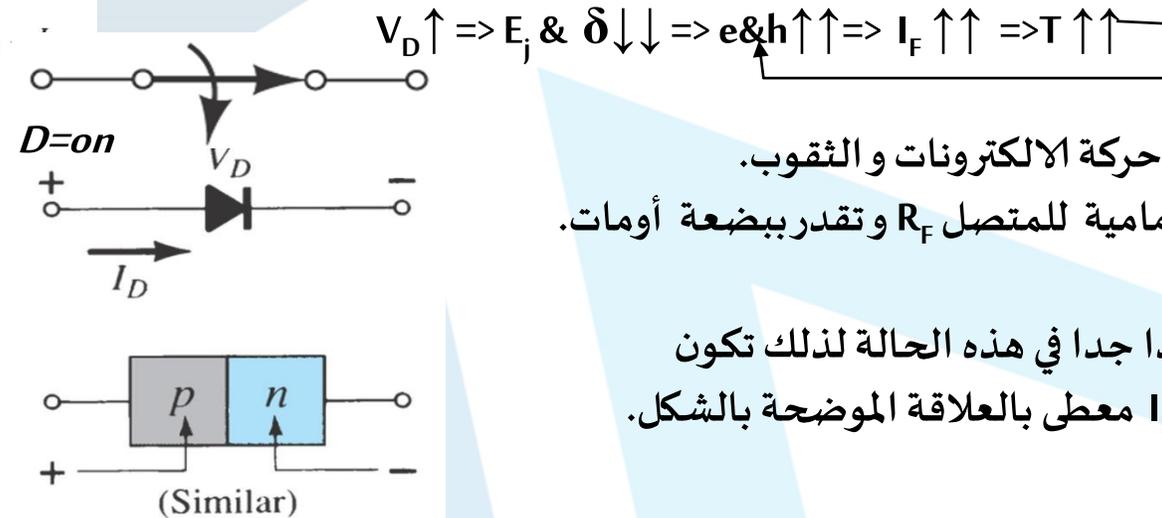
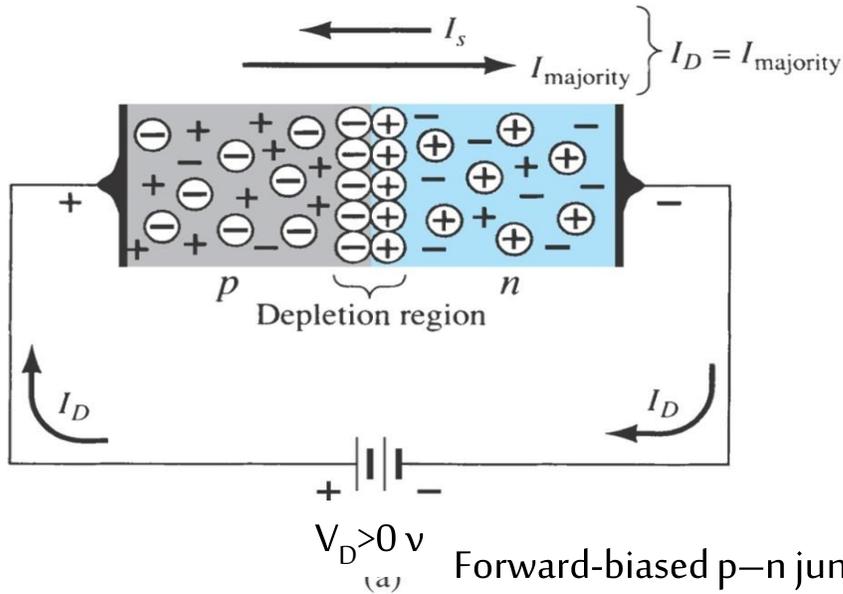


P-N Junction Bias

إنحياز المتصل (الثنائي PN)

الانحياز الأمامي للمتصل للـ Forward-Bias Condition:

- يتم بتطبيق جهد خارجي معاكس بالشدة لحاجز كمون المنطقة المجردة وبالتالي إلكترونات (الحوامل الأكثرية) في *n-type* تنفر من القطب السالب وتتحد مع الأيونات الموجبة كذلك الثقوب في *p-type* تنفر من القطب الموجب وتتحد مع الأيونات السالبة.
- بذلك يتم تخفيض عرض المنطقة المجردة (من الشحن) ويمر تيار ذو قيمة غير مهملة يدعى بتيار المتصل الأمامي ويكون المتصل موصول.
- زيادة في عبور حوامل الشحن لأنه يحمل طاقة أكبر نتيجة تأثير الجهد الخارجي وبالتالي زيادة I_D أو I_F .



$$V_D \uparrow \Rightarrow E_j \& \delta \downarrow \Rightarrow e \& h \uparrow \uparrow \Rightarrow I_F \uparrow \uparrow \Rightarrow T \uparrow \uparrow$$

- التيار الأمامي I_D مكون من حركة الإلكترونات والثقوب.
- تنخفض قيمة المقاومة الأمامية للمتصل R_F وتقدر ببضعة أومات.

- هناك تيار عكسي صغير جدا جدا في هذه الحالة لذلك تكون قيمة التيار الأمامي الكلي I_D معطى بالعلاقة الموضحة بالشكل.

Forward-biased p–n junction. (a) Internal distribution of charge under forward-bias conditions; (b) forward-bias polarity



P-N Junction equations & Characteristics

معادلة وخواص المتصل P-N

-- معادلة المتصل والتي تعطي خواص الثنائي، يمكن استنتاجها باستخدام قوانين الفيزياء الصلبة تمثل بالعلاقة التالية:

$$I_D = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1) = I_S e^{V_D/nV_T} - I_S \quad (1.1)$$

Eq. (1.1)

n : معامل المثالية ويتعلق كثيرا بعوامل التصنيع الفيزيائية وشروط العمل، قيمته محصورة بين 1 و 2 وتؤخذ نظريا 1، I_S : تيار الإشباع العكسي و I_D : تيار الديود الأمامي.

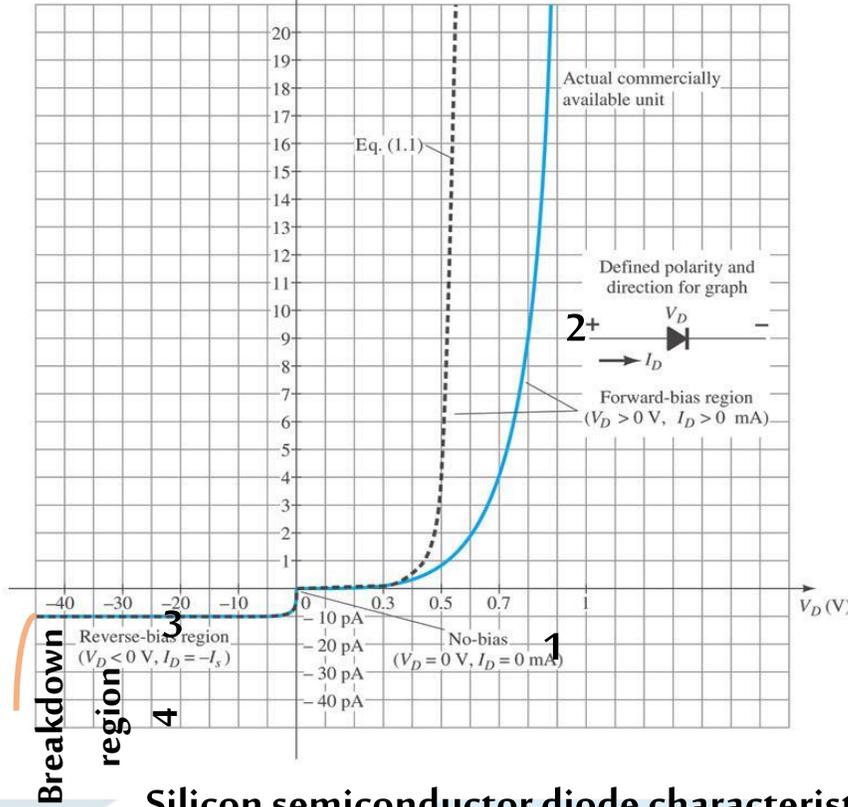
1- بدون تغذية: $V_D = 0 \Rightarrow I_D = 0$

2- الانحياز الأمامي (منطقة التحيز الأمامي): $V_D > 0$ الحد الأول للعلاقة السابقة أكبر بكثير من الحد الثاني والتيار يصبح موجبا ويزيد بشكل أوسي: $I_D \cong I_S e^{V_D/nV_T}$

3- الانحياز العكسي (منطقة التحيز العكسي): $V_D < 0$ الحد الأول للعلاقة السابقة اصغر بكثير من الحد الثاني والتيار يصبح سالبا وثابتا: $I_D \cong -I_S$

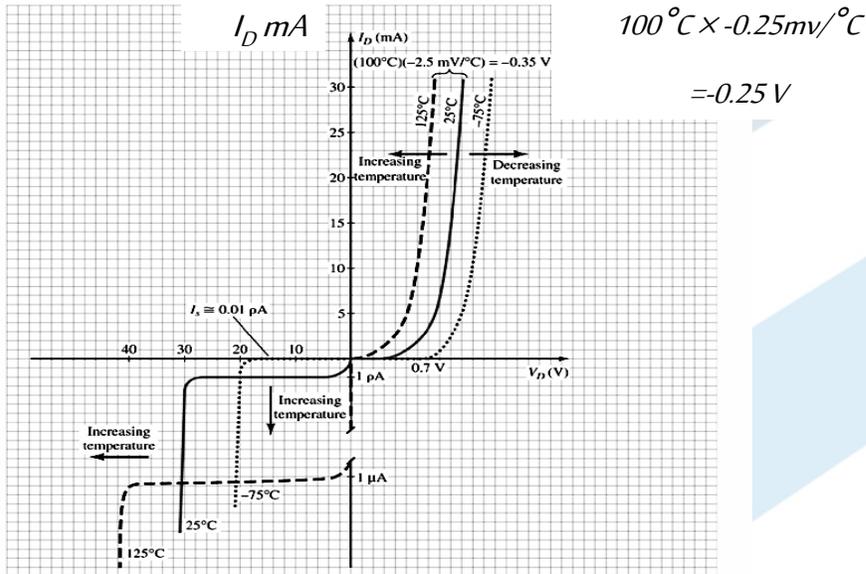
4- بزيادة الجهد العكسي بشكل كبير نوعا ما يزداد التيار العكسي بشكل خفيف جدا، عندما يصل الجهد العكسي إلى قيمة سالبة معينة يزداد التيار العكسي بشكل متسارع ويدخل الديود منطقة الانهيار.

= يجب أن لا تتجاوز استطاعة المطبقة على الديود قيمة عظمي حتى لا ينهار وهي: $P_{max} = V_D I_{Dmax}$



Temperature & Semiconductor Type Effects

- بزيادة درجة الحرارة لنفس المادة النصف ناقلة:
- ١- تضيف طاقة إلى المتصل الثنائي P-N (الديود).
 - ٢- تخفض من قيمة جهد الانحياز الأمامي.
 - ٣- تزيد من تيار الإشباع العكسي (يسرع في عملية الانهيار).
 - ٤- تزيد من قيمة جهد الانهيار العكسي الأعظمي.

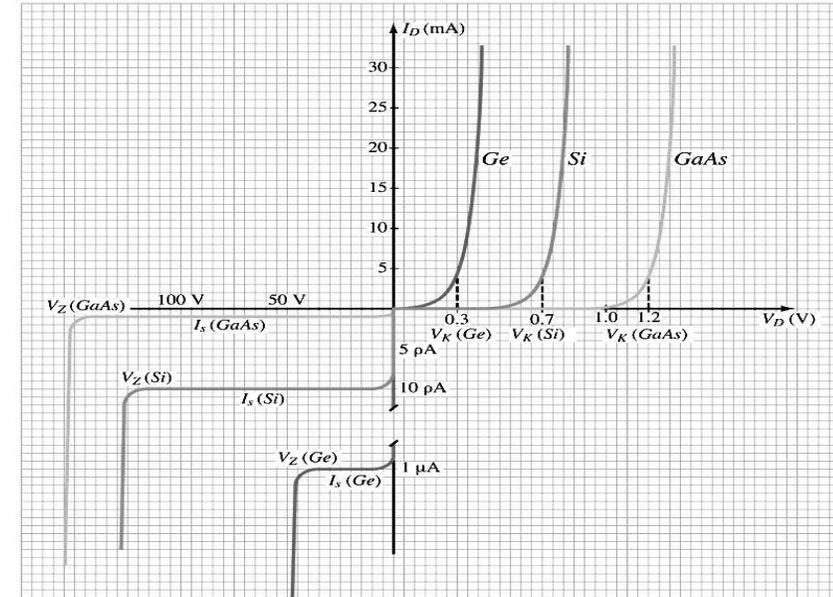


Variation in Si diode characteristics with temperature.

تأثير نوع المادة العازلة ودرجة الحرارة

-- بتغير نوع المادة نصف الناقلة:

- ١- تتغير بنية الذرة للمادة، زيادة او نقصان الكترونات التكافؤ.
- ٢- يتغير جهد العتبة للمتصل او الجهد اللازم لفتح المتصل.
- ٣- يتغير، زيادة او نقصان، الجهد العكسي اللازم للانهيار.
- ٤- كذلك يتغير تيار الأشباع العكسي.



Comparison of Ge, Si, and GaAs diodes.

