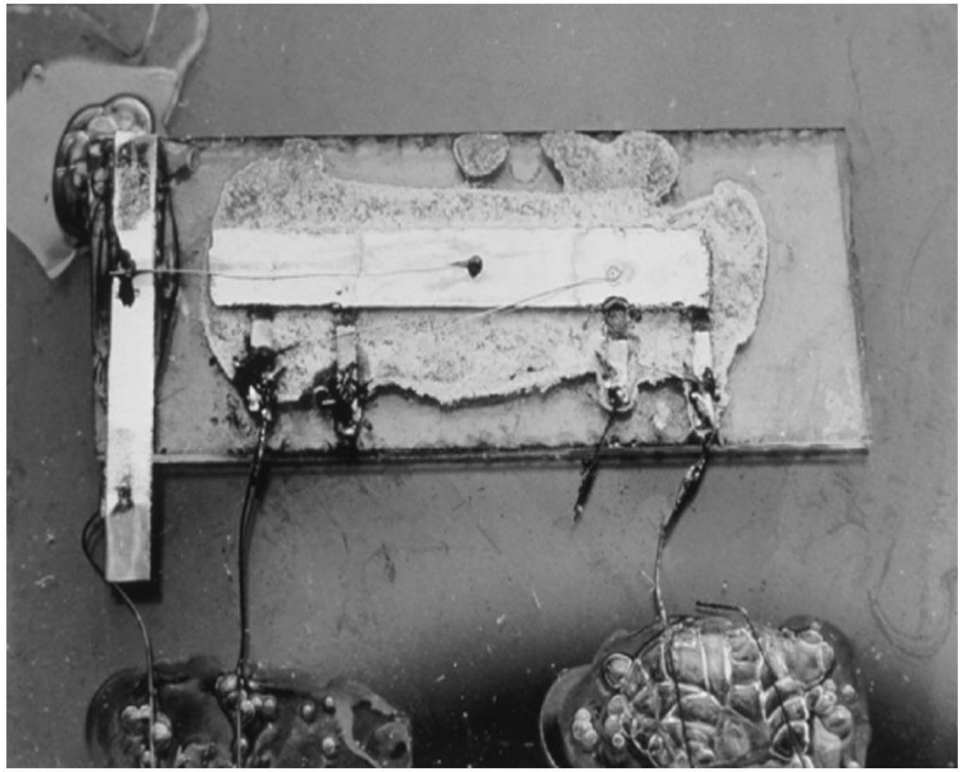
اسس الهندسة الالكترونية

مدرس المقرر
د. السموءل صالح

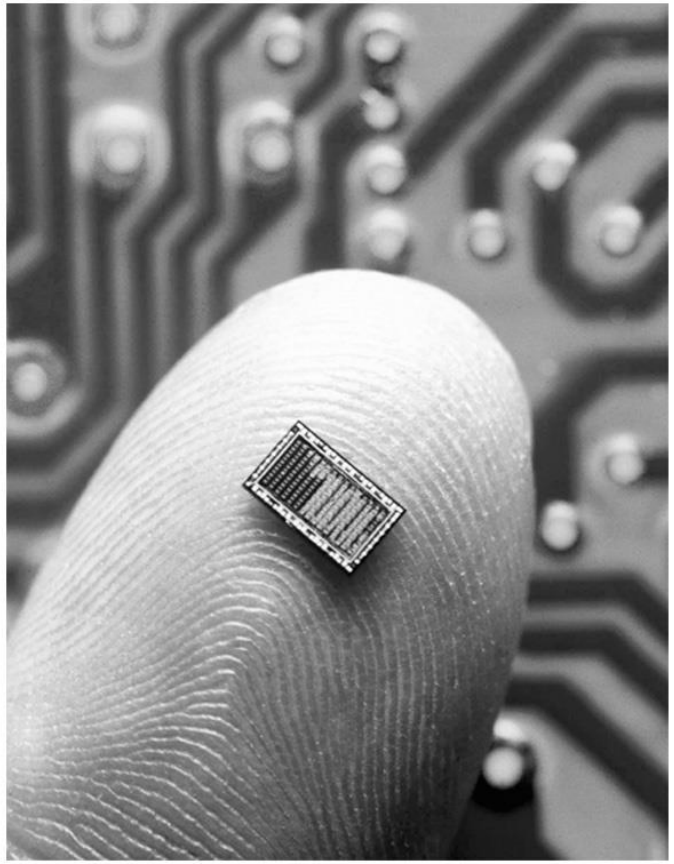
الفصل الدراسي الأول

المحاضرة الاولى



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

لماذا الهندسة الالكترونية ؟



B - Computer chip.

Course Contents

مفردات المقرر

اسس الهندسة الإلكترونية

+ Introduction General

+ Semiconductors

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

+ Semiconductors Diodes

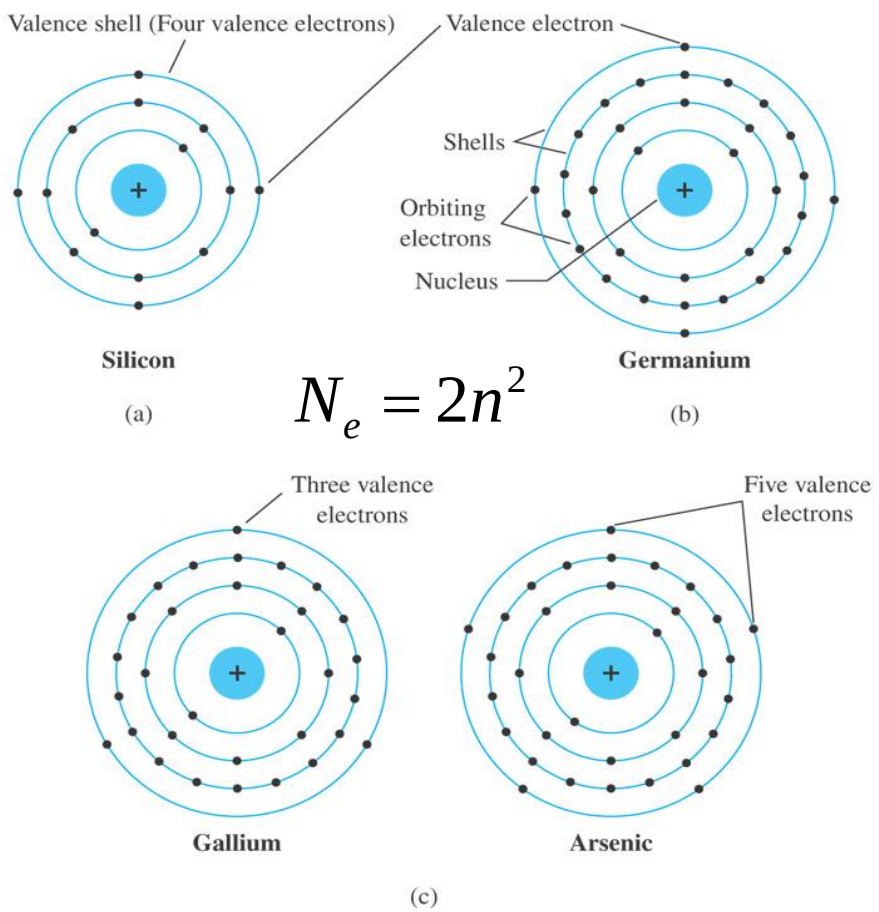
- Junction Semiconductors Types (PN and NP).
- Diode characteristic.
- Forward Biased PN Junction.
- Reverse Biased PN Junction
- NP junctions Capacity and resistance.
- Equivalent circuits.
- General equation.
- Load–Line Analysis.

فيزياء أنصاف النو اقل

Semiconductor Physics

Atomic structure

بنية الذرة



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

ملاحظات:

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

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

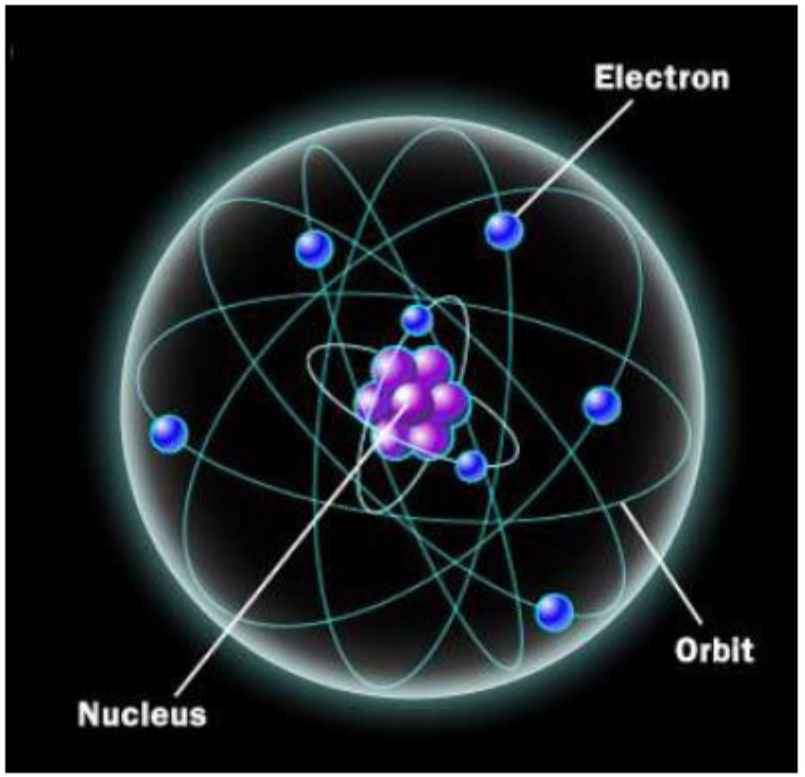
٣- يكون ترتيب الالكترونات على المدارات خاضع للقانون التالي: $N_e=2n^2=2, 8, 18, 32 \ldots$.

٤- إلكترونات المدار الأخير تسمى بالكترونات التكافؤ *Valence Electrons* وتعبر عن أنصاف النواقل.

٥- الالكترونات الأقرب للنواة تكون قوة ارتباطها بها اكبر من تلك الأبعد (الكترونات التكافؤ ارتباطها الاقل).

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

Atom consists of electrons, protons, and neutrons



Covalent bonding

الرابطة المشتركة

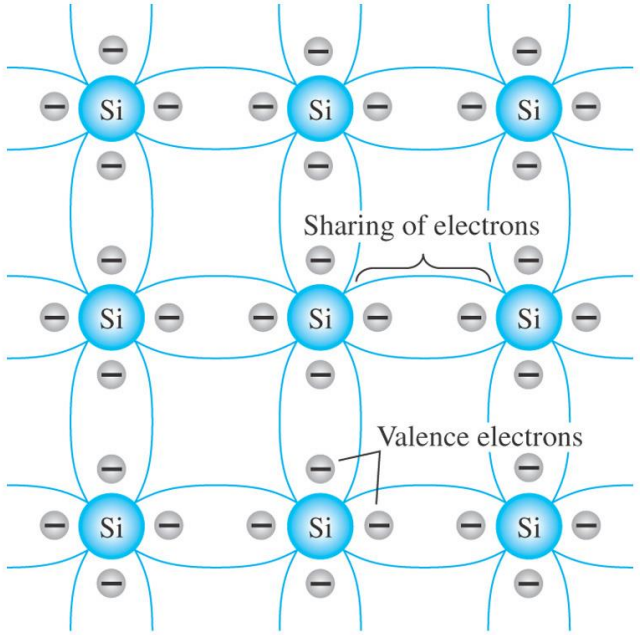
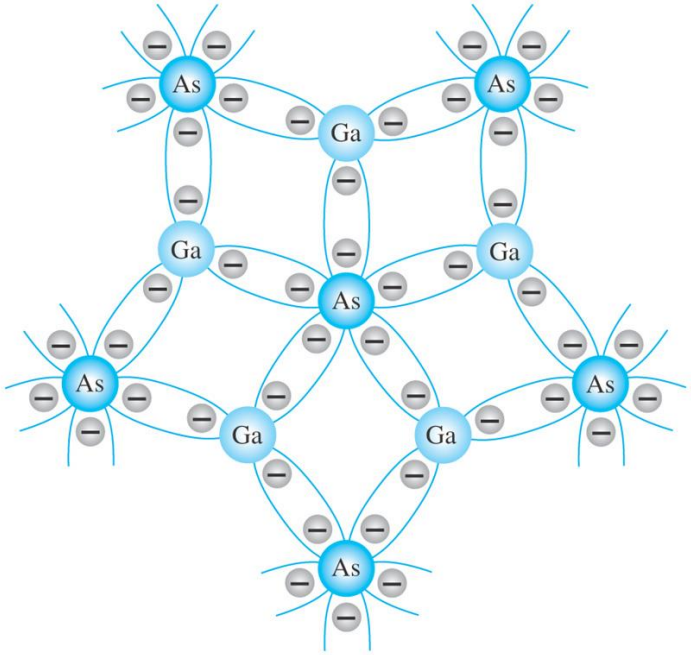


TABLE 1.1
Intrinsic Carriers n_i

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



Covalent bonding of the silicon atom.

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

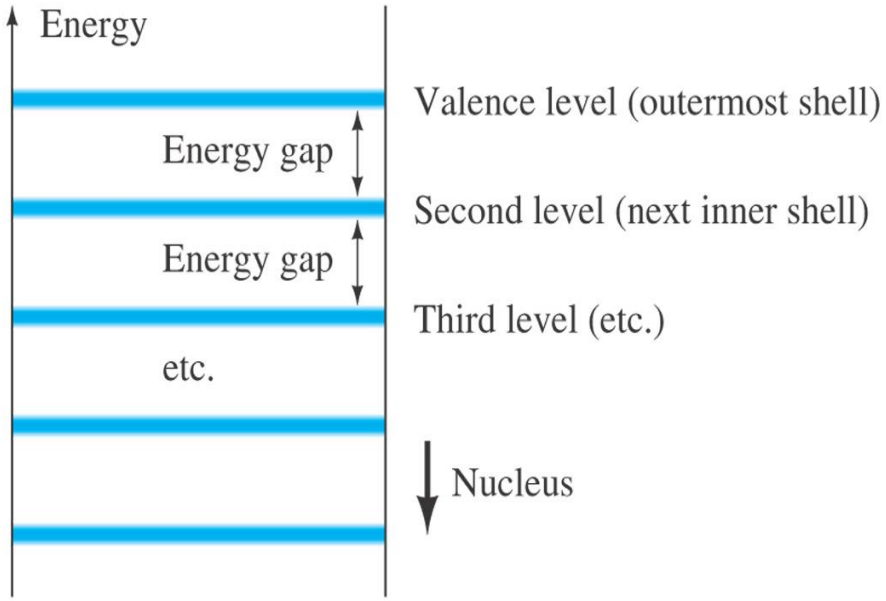
Covalent bonding of the GaAs crystal.

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

هذه الرابطة تجعل الكترونات 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.

Energy Levels

المستويات الطاقية



Energy levels:
Discrete levels in isolated atomic structures.

ملاحظات:

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(المدارالأخير) وتتجه باتجاه النواة، ينتج عن هذه المستويات ما يسمى بالفجوات الطاقية والتي يحتاج الإلكترون لطاقة ما ليتخطاها (إما مكتسبة أو مفقودة).

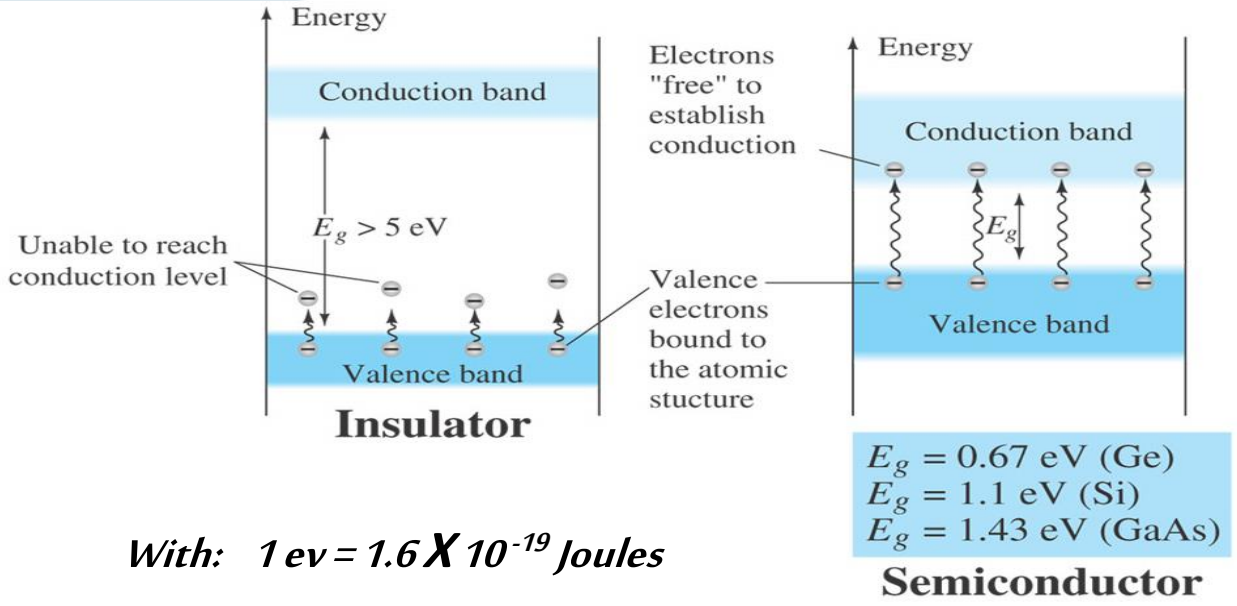
٣- الإلكترونات الحرة (المتحررة من مستو التكافؤ) هي الإلكترونات التي تملك الطاقة الأكبروهي التي تعبرعن ناقلية أوعدم ناقلية العنصروتشكل حزمة النقل.

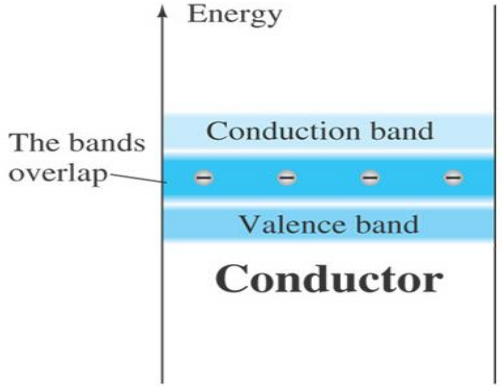
٤- الإلكترونات المقيدة (المرتبطة بالروابط الثنائية في البنية الذرية) منها الإلكترونات على المدارالأخير، تحتاج لطاقة خارجية لتتحرروهي التي تعبرعن حزمة التكافؤ.

٥- بين حزمة النقل وحزمة التكافؤهناك منطقة الحزمة الممنوعة أو فجوة طاقية *Energy gap*، هذه المنطقة تحدد حسب عرضها عدد الإلكترونات التي تنتقل إلى حزمة النقل من حزمة التكافؤو بالتالي تحدد ناقلية أوعازلية المادة.

Conductor, Insulator, Semiconductor

الناقل، العازل، نصف الناقل





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

With: 1 ev = 1.6 X 10^{-19} Joules

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 الا بطاقة كبيرة) وتنعدم تقريبا في الناقل (لا يحتاج إلكترون التكافؤ إلى طاقة للوصول إلى حزمة النقل).

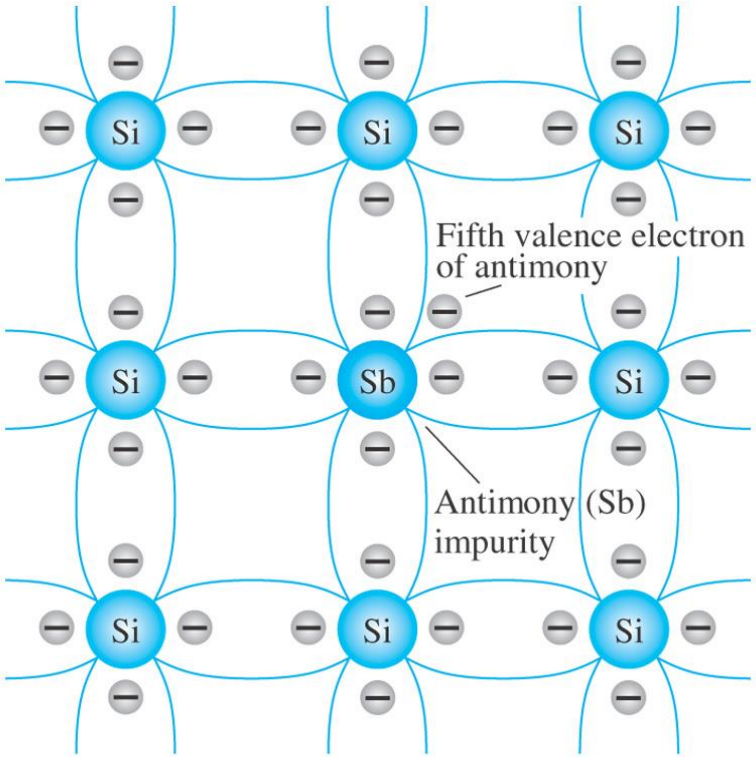
** بينما في المواد نصف الناقلة نلاحظ أن إلكترون التكافؤ يحتاج إلى طاقة بسيطة (حرارية، ضوئية...) للوصول الى حزمة النقل وبالتالي وجود تيار بسيط في الحالة الطبيعية وبدرجة حرارة الغرفة لكن غير متحكم بها.

** إذا هذه المواد يمكن تحويلها إلى مواد ناقلة بطرق عدة منها الإشابة .....

Impurity Semiconductor

أنصاف النو اقل المشابه

هناك نوعان من المواد نصف الناقلة المشابه: ١- نوع N ، N-Type ٢- نوع P، P-Type



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 الناقلة السيلكون Si المادة النقية.

** باستخدام هذه الآلية تسعى ذرات الـ Si لتشكيل الروابط الثنائية سعيا للاستقرار وبالتالي إلكترونات التكافؤ تتشارك مع اربع الكترونات 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 الالكترونات 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 اقل طاقة (درجة حرارة الغرفة أو بنتيجة التصادم الناتج عن حركة الإلكترونات الحرة) لإعطاء إلكترونات تضاف للحوامل الأكثرية وفراغات مكان تحرر الإلكترون (يسمى ثقب) ويعبر عن الحوامل الأقلية وهي ذات الشحنة الموجة.

أنصاف النو اقل المشابه

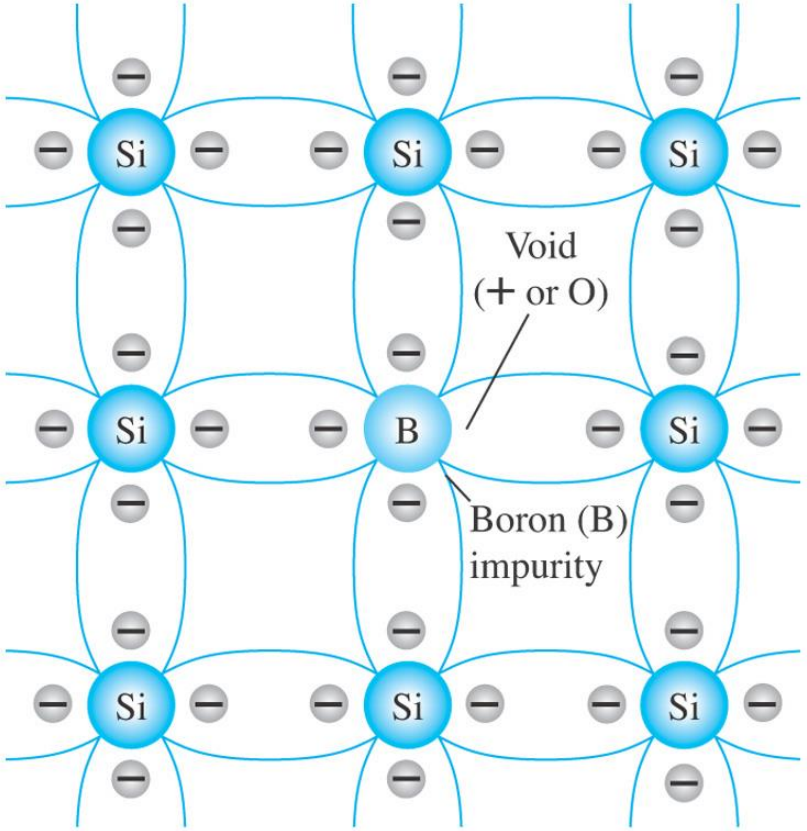
نصف الناقل نوع P ، P-Type:

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

** باستخدام هذه الآلية تسعى ذرات الـ Si لتشكيل الروابط الثنائية سعيا للاستقرار و بالتالي إلكترونات التكافؤ تتشارك مع ثلاث الكترونات من ذرات الـ 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 والإلكترونات تعبر عن الحوامل الأقلية و ذات شحنة سالبة.



Boron impurity in p-type material.

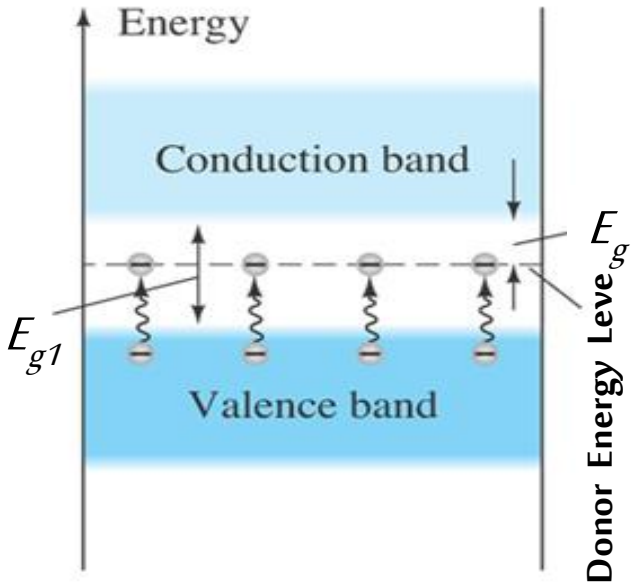
Effect of impurities on the energe band

أثر الإشابة على حزم الطاقة

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

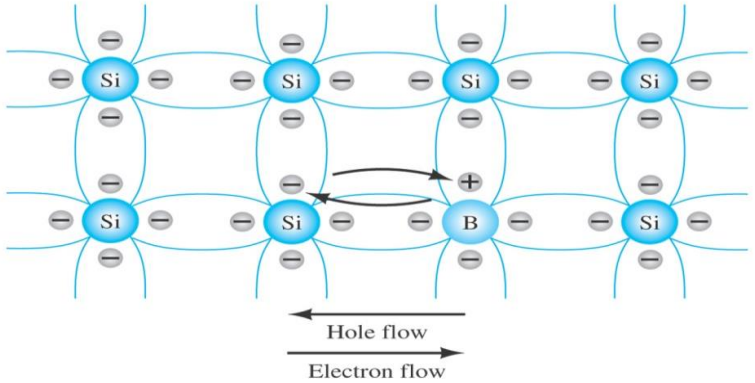
E_g تعبر عن مستو الطاقة للحزمة الممنوعة للمادة نصف الناقلة المشابه نلاحظ أن قيمته أصغر بكثير من مستو الطاقة للمادة النقية.

-- 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.

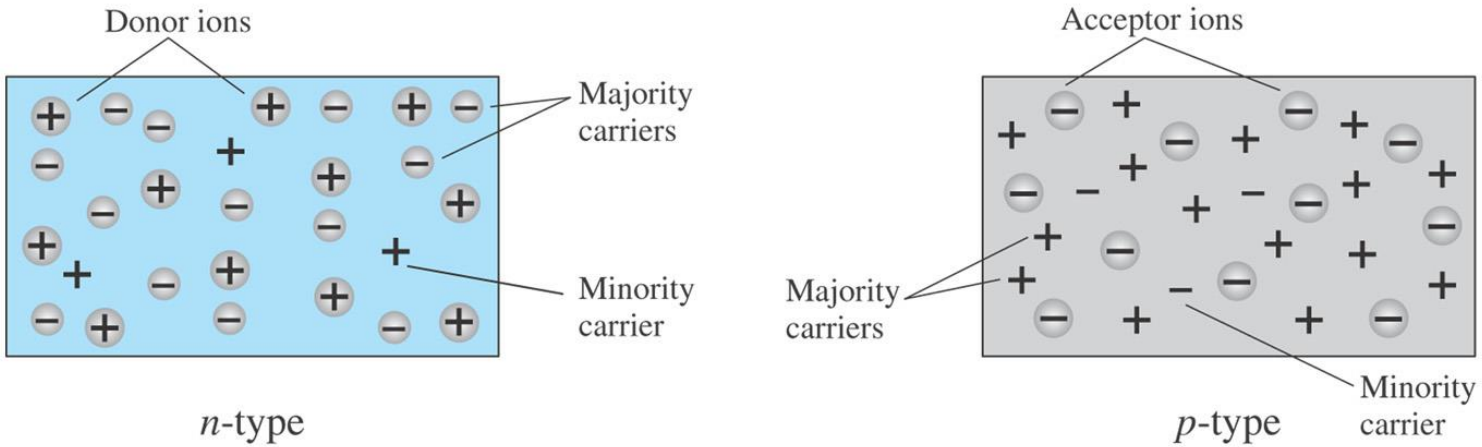
أثر الثقب في عملية النقل وتولد التيارات في المادة المشابه *P-Type*. وجود الثقب يؤدي لجذب إلكترون (من اجل تعويض الشحنة المفقودة) من رابطة تشاركيه للسيلكون يؤدي تولد ثقب جديد وهكذا ... .



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

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

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

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

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

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

٤- تحسب الحوامل الاقلية في كل نوع وفق: عدد الثقوب في النوع n: $p_n = \frac{n^2}{n_n}$ وعدد الالكترونات 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 و المشوب؟

** 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 بـ:

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

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

++ D تمثل ثابت التسرب او الانتشار ويتعلق بدرجة الحرارة ويقدر (m^2/sec) بـ حيث D_n يمثل ثابت تسرب الالكترونات و D_p للثقوب ويعطى حسب علاقة إنشتاين التالية: $\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{KT}{q} = \frac{T}{11600} = V_T$ حيث: $K=1,38x10^{-23}J/K$ هو ثابت بولتزمان

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

++ ρ تمثل الكثافة الحجمية للشحنة وتساوي كما رأينا الى $\rho_n=-nq$ للالكترونات 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 الالكترونات و الثقوب:

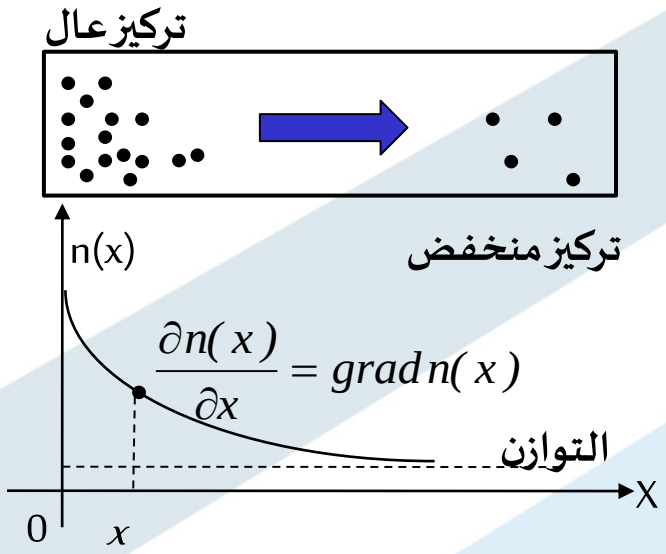
$$J_{ndiff} = qD_n\frac{\partial n}{\partial x} \quad and \quad J_{pdiff} = -qD_p\frac{\partial p}{\partial x}$$

تيار التسرب الكلي يعطى بـ:

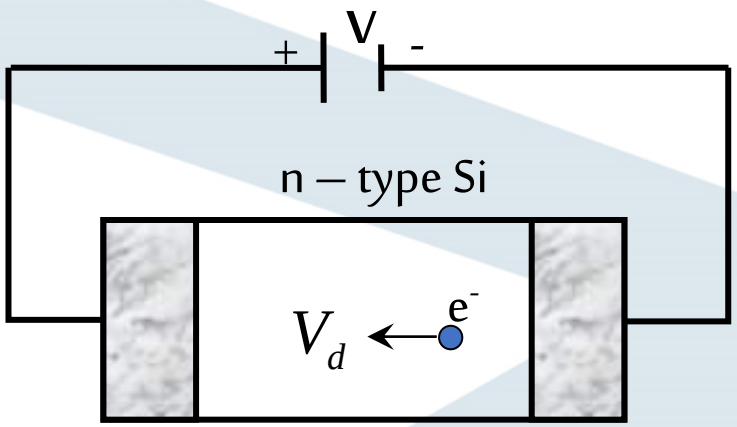
$$J_{diff} = J_{ndiff} + J_{pdiff} = qD_n\frac{\partial n}{\partial x} - qD_p\frac{\partial p}{\partial x}$$

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

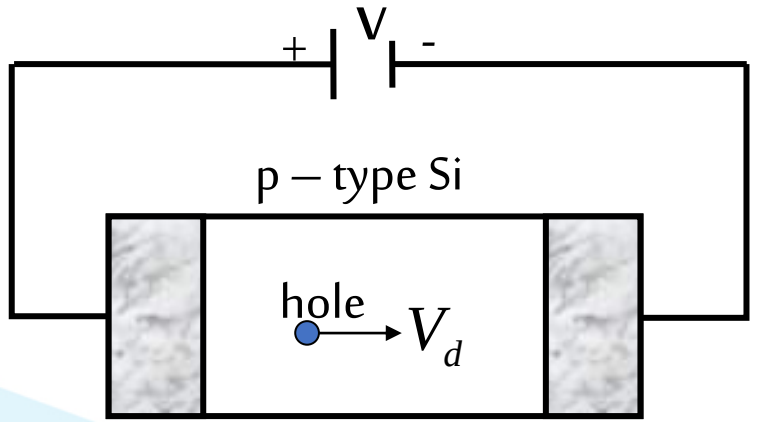
$$J = J_{ndrft} + J_{pdrft} + J_{ndiff} + J_{pdiff}$$



n - type Si



p - type Si



Electric field $E = \frac{V}{L}$

Electron & Hole movement

Current flow

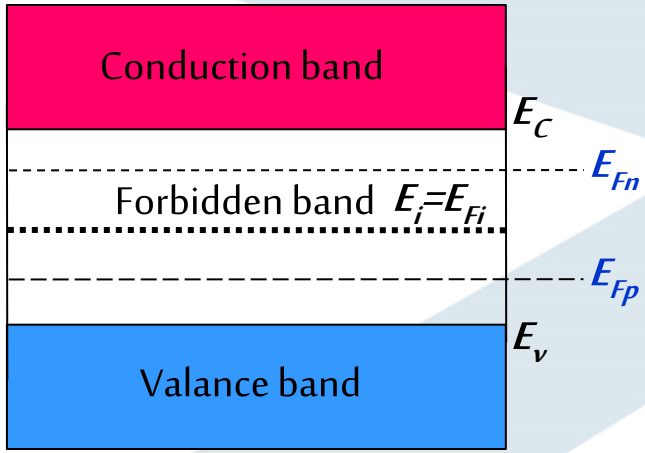
Current Carriers are mostly Electrons.

تكون حوامل التيارفي المعظم الكترونات

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 أخر 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 الكترونات).



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

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

ويعطى بالعلاقة الاتية:

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

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 الـ P-Type ل ان عدد الثقوب اكثر.

N-type:

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

بالنتيجة ينزاح مستوي فيرمي نحو الأعلى باتجاه حزمة النقل.

P-type:

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

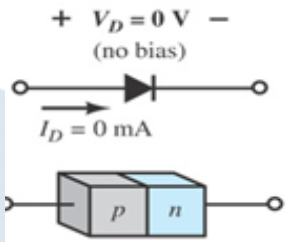
بالنتيجة ينزاح مستوي فيرمي نحو الأسفل باتجاه حزمة التكافؤ.

ألثنائيات نصف الناقلة

Semiconductor Diodes

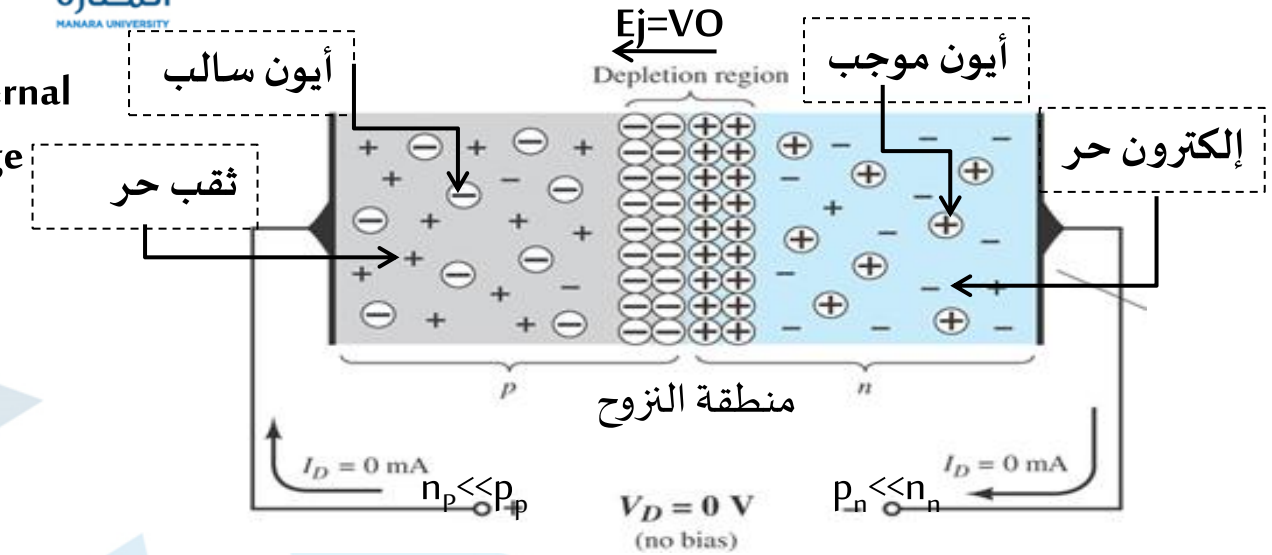
Semiconductor Junctions (Diod)

المتصل نصف الناقل (الثنائي)



Diode symbol, with the defined polarity and the current direction

A p–n junction, An internal distribution of charge



الأنواع:

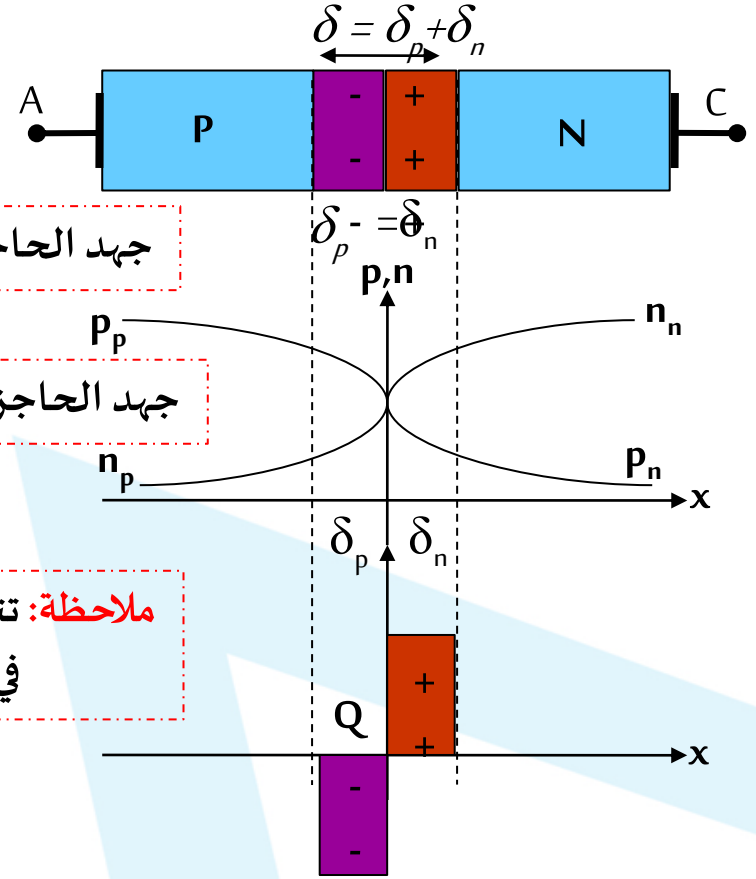
متجانس: نفس نوع المادة Si,Si or Ge,Ge.

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 وتتولد تيارات الانتشار للثقوب والالكترونات بحيث تتجه الكترونات 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 وتنشا 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 لان 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

١- المتصل PN المتناظر في حالة التوازن

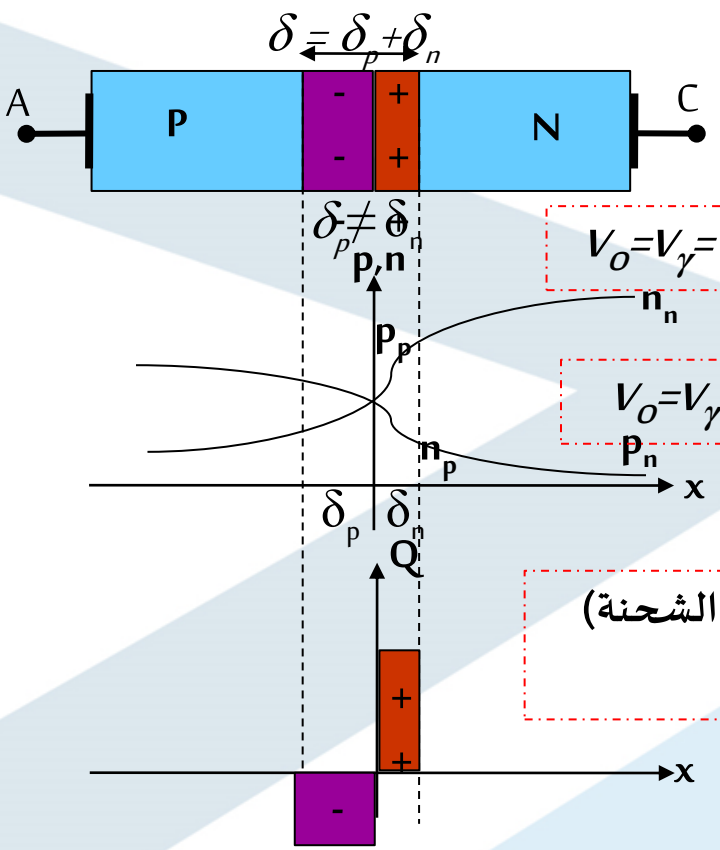


جهد الحاجز الكموني للسليكون $V_O = V_\gamma = 0.7\,v$

جهد الحاجز الكموني للجرمانيوم $V_O = V_\gamma = 0.3\,v$

ملاحظة: تتوضع المنطقة المجردة (خالية الشحنة) في القطعة ذات الاشابة الاقل.

٢- المتصل PN غير المتناظر في حالة التوازن



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

كثافة الالكترونات في المادة نوع N أكبر من كثافة الثقوب في Pأي 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.

انحياز المتصل (PN الثنائي)

الانحياز العكسي للمتصل Reverse-Bias Condition:

-- يتم بتطبيق جهد خارجي لدعم حاجز الكمون (نفس الاتجاه) للمنطقة المجردة وبالتالي إلكترونات النوع (الحوامل الأكثرية) *n- type* تنجذب إلى القطب الموجب اما ثقوب النوع *p-type* تنجذب إلى القط 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.

-- 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 .

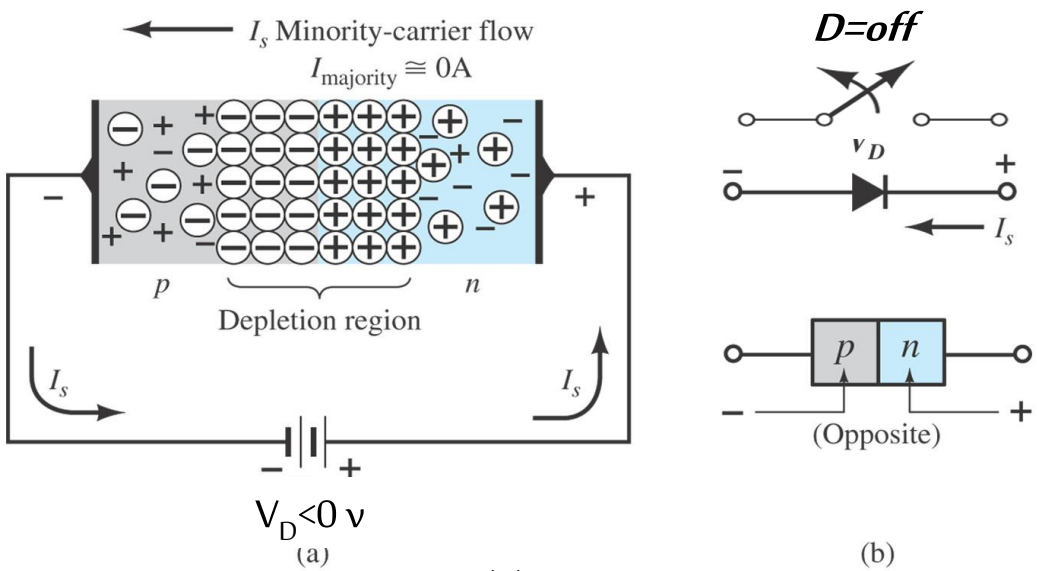
-- تزداد قيمة المقاومة العكسية للمتصل R_R بحيث تقدر بالميغا اوم .

-- التيار العكسي يتعلق بدرجة الحرارة كما يلي:

تكسير للروابط، إذا حوامل الشحن تزداد وفق:

T↑=> Electron↑ => I_S ↑↑

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



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

P-N Junction Bias

إنحياز المتصل (الثنائي PN)

الانحياز الأمامي للمتصل Forward-Bias Condition:

-- يتم بتطبيق جهد خارجي معاكس بالشدة لحاجز كمون المنطقة المجردة و بالتالي إلكترونات (الحوامل الأكثرية) في *n-type* تنفر من القطب السالب وتتحد مع الايونات الموجبة كذلك الثقوب في *p-type* تنفر من القطب الموجب و تتحد مع الايونات السالبة.

-- بذلك يتم تخفيض عرض المنطقة المجردة (من الشحن) ويمر تيار ذو قيمة غير مهملة يدعى بتيار المتصل الأمامي ويكون المتصل موصول.

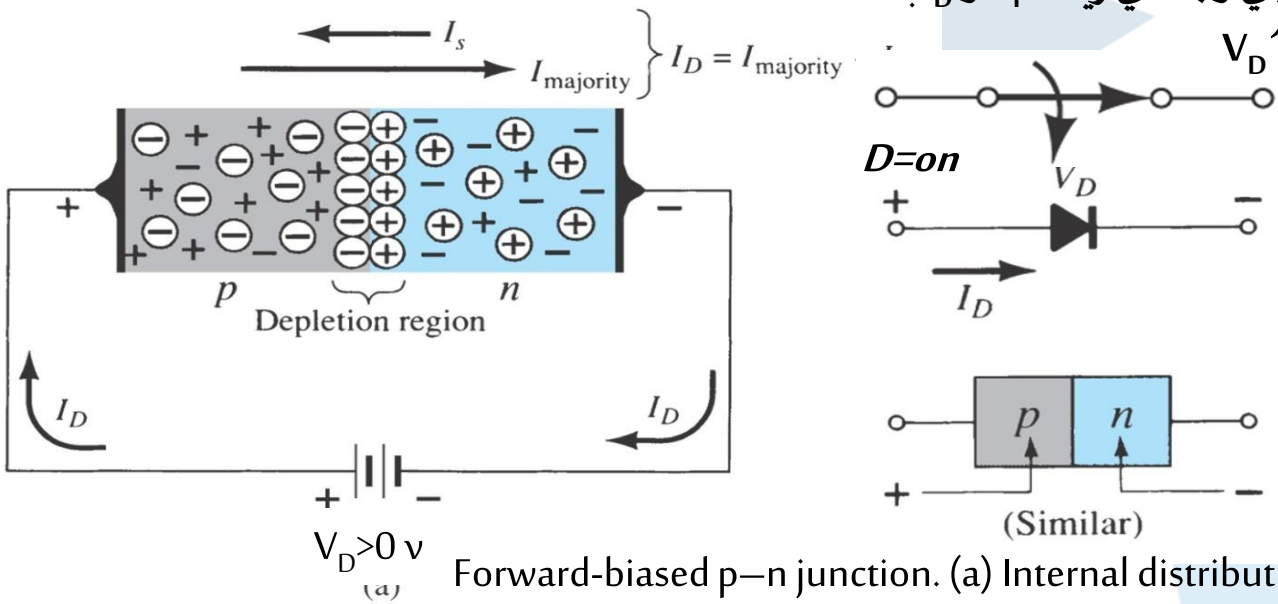
-- زيادة في عبور حوامل الشحن لأنه يحمل طاقة اكبر بنتيجة تأثير الجهد الخارجي و بالتالي زيادة I_F أو I_D.

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

-- التيار الأمامي I_D مكون من حركة الالكترونات و الثقوب.

-- تنخفض قيمة المقاومة الأمامية للمتصل R_F و تقدر 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 و التي تعطي خواص الثنائي، يمكن استنتاجها باستخدام قوانين الفيزياء الصلبة تمثل بالعلاقة التالية:

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

$V_T = KT/q$: الكمون الحراري، V_D: الكمون الخارجي المطبق.

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

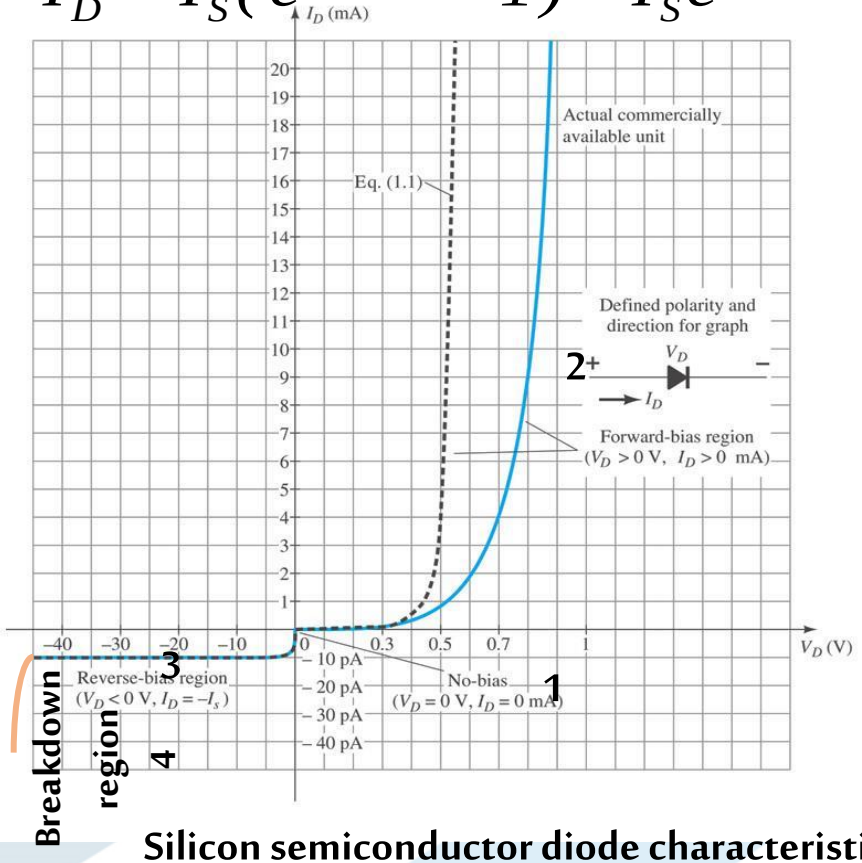
١- بدون تغذية: $V_D = 0 \Rightarrow I_D = 0$

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

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

٤- 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: $P_{max} = V_D I_{Dmax}$



Silicon semiconductor diode characteristics.

تأثير نوع المادة العازلة ودرجة الحرارة

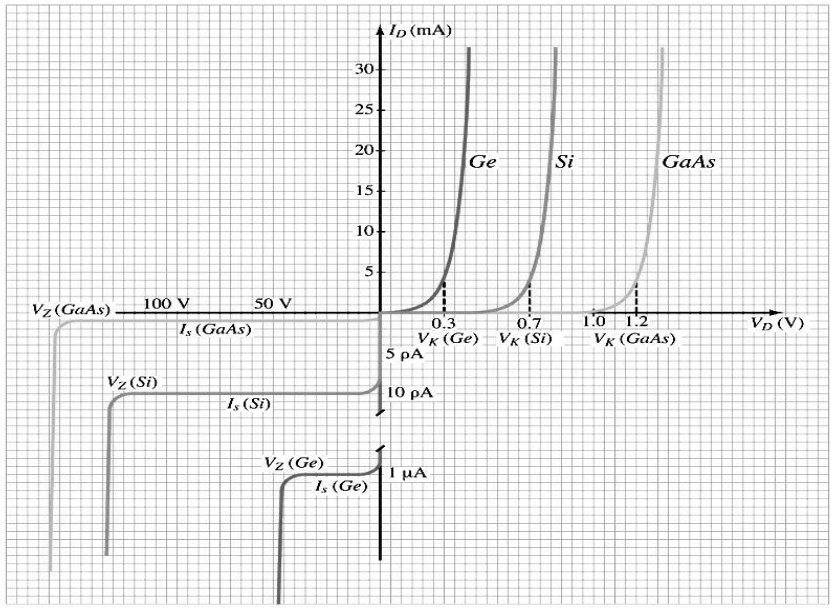
-- **بتغير نوع المادة نصف الناقلة:**

١- تتغير بنية الذرة للمادة، زيادة او نقصان الكترونات التكافؤ.

٢ - يتغير جهد العتبة للمتصل او الجهد للازم لفتح المتصل.

٣- يتغير ،زيادة او نقصان، الجهد العكسي اللازم للانهيار.

٤- كذلك يتغير تيار الأشباع العكسي.



Comparison of Ge, Si, and GaAs diodes.

Temperature & Semiconductor Type Effects

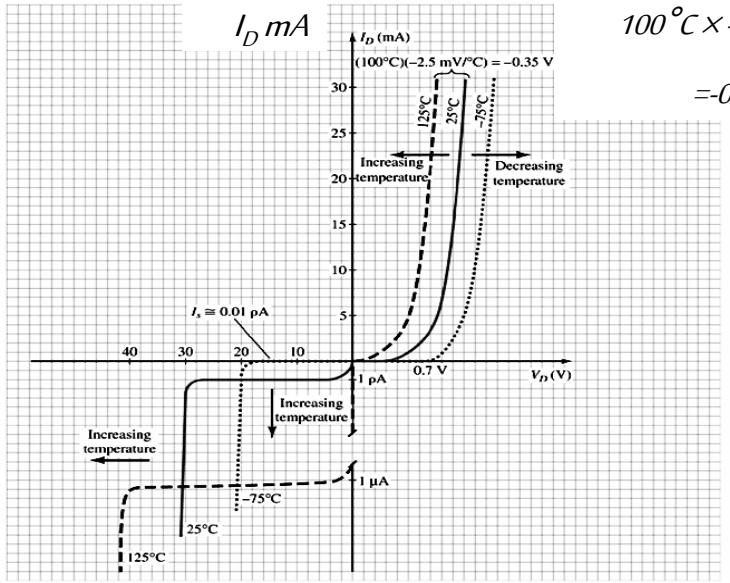
-- **بزيادة درجة الحرارة لنفس المادة النصف ناقلة:**

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.



100°C × -0.25mv/°C

=-0.25 V

Variation in Si diode characteristics with temperature.

المقاومة في المتصل P-N

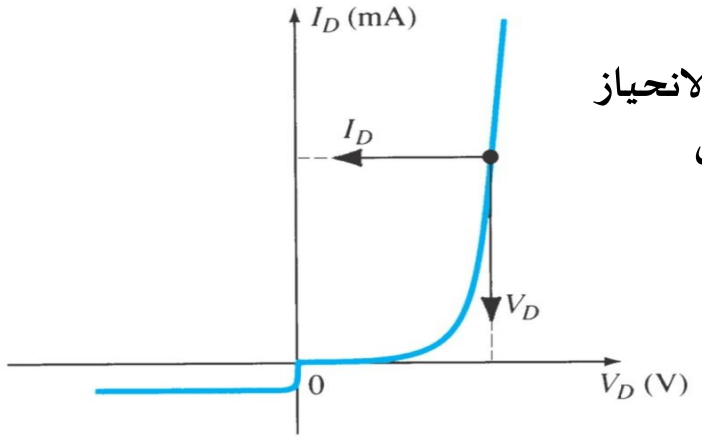
١- المقاومة الستاتكية Dc or Static Resistance

-- من اجل نقطة عمل محددة على المميزة الأمامية للديود، لدينا قيمة معينة لجهد الديود وأخرى للتيار إذا المقاومة تعطى بالعلاقة:

$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$

-- بتغير النقطة تتغير قيمة هذه المقاومة إلا في مجال التغيرات الخطية للمميزة، حيث تبقى ثابتة وهذا يدفعنا لاختيار مجال عمل الديود في المنطقة الخطية.

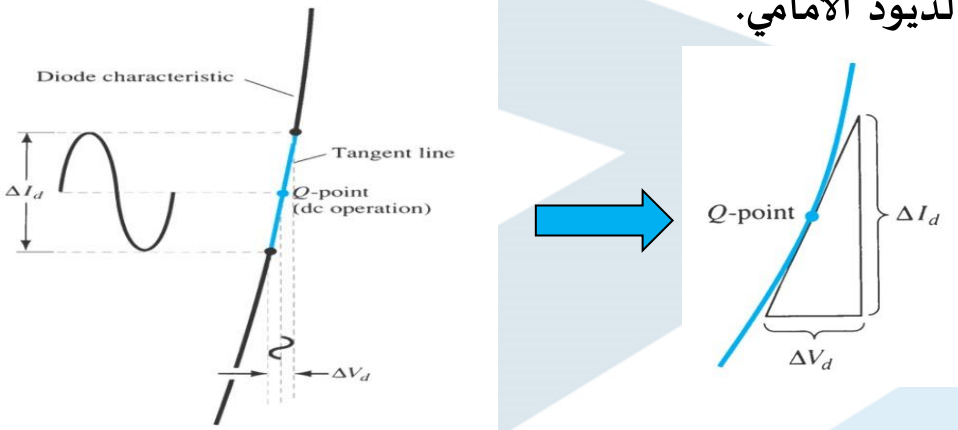
-- تؤخذ المقاومة العكسية عند الانحياز العكسي بنفس الطريقة وتكون ذات قيمة كبيرة جدا.



Diode Resistances

٢- المقاومة الديناميكية Ac or Dynamic Resistance

-- هي المقاومة التي يبديها الديود بالنسبة لتيار متناوب، لدينا تغيرات في التيار المتناوب حول نقطة العمل (في المنطقة الخطية) يقابله تغيرات في جهد الديود الأمامي.



-- تعطى في المميزة الامامية بالعلاقة:

$$r_d = \frac{dV_d}{dI_d} = \frac{26\,[mV]}{I_D} + r_B$$

r_B: تأخذ قيمها بدأ من 0.1Ω من اجل الأجهزة ذات الاستطاعة العالية حتى $2\,\Omega$ من أجل أجهزة الاستطاعة المنخفضة.

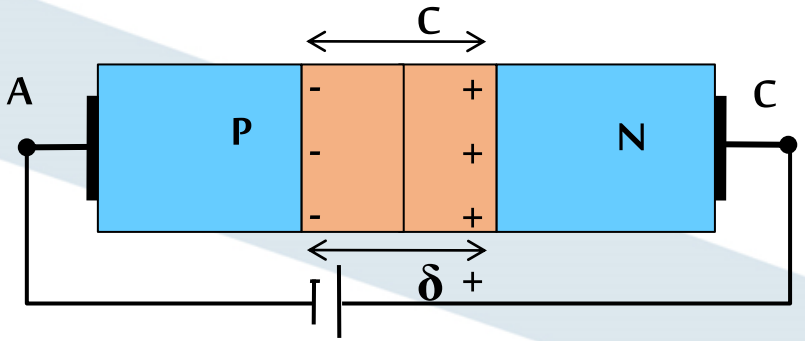
-- في المميزة العكسية تكون ذات قيمة لانهائية $r_d = \infty$ لان $D=off$.

الأثر السعوي للمتصل Diode Capacitance

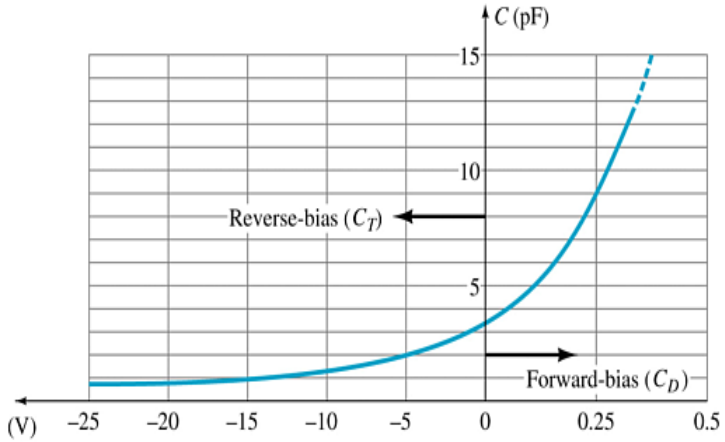
-- في حالة الانحياز العكسية: تعتبر منطقة الشحنة الفراغية (الخالية من الشحن) عبارة عن منطقة عازلة بين لبوسين ناقلين وهذا يؤدي إلى اعتبار أن الديود يسلك سلوك المكثف ويرمز لها C_T وتحسب سعتها بالقوانين المعروفة.

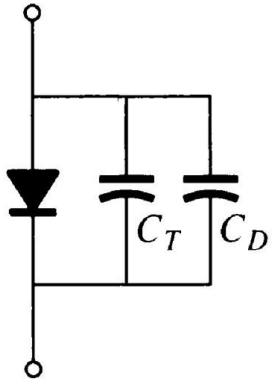
$$C_T = \frac{\varepsilon A}{\delta}$$

-- في الحالة الأمامية: تتكون سعة تسمى بسعة الانتشار ويرمز لها بـ C_D وتزداد بزيادة الجهد الأمامي حتى نصل لجهد العتبة ويفتح الديود.



-- تتعلق قيمة المكثف بنوع المادة العازلة ودرجة الإشابة وبقيمة الجهد العكسي المطبق وبالتالي تحدد هذه السعة من خلال التغيرات الحاصلة في كمية الشحنة المخزنة الناتجة عن تغيرات الجهد العكسي.





$$C_D = \frac{dQ}{dV_R}$$

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY