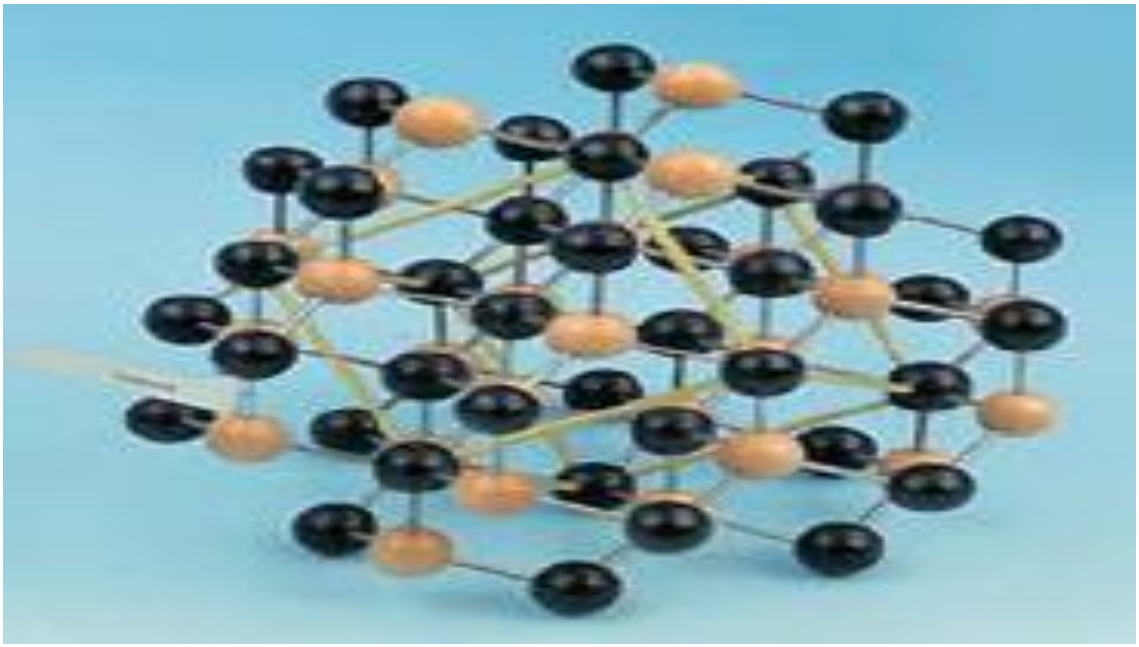
مقدمة فيزياء المواد



الفرقة الرابعة اساسى علوم

إعدد

د/ عمرو عطية ابوالوفا
استاذ علوم المواد المساعد

2024

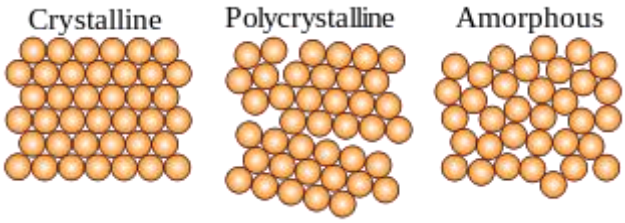
مقدمة:

سعى الإنسان إلى إيجاد المعالم الأساسية على سطح الأرض وكتابة التصنيفات الخاصة بثروات الأرض وموادها فبدأ بتصنيفها وفقا للخواص التي تمتلكها فبدأ بتصنيفها على الوجه الفيزيائي الذي كان يراه منها ومن أشكالها، فصنفها أولا وفقا لحجمها ولونها، ثم زاد الدقة في ذلك فوضع عددا من الخواص الفيزيائية لتصنيفها كخدش السطح والصلابة والصلادة والمسامية والتفاعل مع الهواء والماء وغير ذلك من الصفات الأساسية التي عني بها الفيزيائيون والكيميائيون على حد سواء، ثم بعد ذلك تطور العمل على إيجاد تصنيف أكثر دقة وظهر بعد اكتشاف العناصر والمركبات فتم تصنيف المواد الموجودة على سطح الأرض والقاطنة في باطنه وفقاً للخواص الكيميائية كالرقم الهيدروجيني وتفاعلها مع أنواع الأملاح وبعض الأحماض والقلويات وكذلك تركيبها الكيميائي وتراص العناصر فيها، وتم تصنيفها أيضا على الحالة الفيزيائية العامة لها كالصلب والسائل والغاز واهتمامهم أيضا بفلزيتها أو عدم ذلك بالتركيز على خاصية اللمعان أو البريق، وعملوا أيضا على تصنيفها وفقا للخواص العامة للمادة المتواجد من حيث الندرة والانتشار على الأرض، وحتى من غرض الصناعة أو الزراعة، فهناك تصانيف كثيرة للمواد على الأرض كل يهتم بالمادة من وجهة نظره هو وفائدة المادة الذي قدمتها للتخصص الذي صنع التصنيف لأجله، وهذا يجعل الأمر متناسقا تماما بين الخواص والعلوم الطبيعية المنتشرة على الأرض سواء تلك المهتمة في الجوانب الحيوية أو الجوانب البيئية والجيولوجية والعامة وغير ذلك من العلوم. ولنأتي أولاً في تصنيف المواد على التصنيف الأكثر عمومية والأكثر انتشاراً في علم تصنيف المواد وهو تصنيفها إلى عنصر ومركب، والفرق بين الاثنين أن العنصر هو عبارة عن مادة أولية لا يمكن تحويلها لمادة أبسط منه باستخدام الطرق الكيميائية أو الفيزيائية، أما المركب فهو عبارة عن اتحاد عنصرين أو اكثر اتحادا كيميائيا وتختلف خواصه عنخاص المركبات التي نتج منها ويمكن إعادته إلى حالة العناصر الأولية باستخدام الطرق الكيميائية أو الفيزيائية المعروفة.

توجد المادة في أربع حالات هي: الحالة الغازية، والحالة السائلة والحالة الصلبة وحالة البلازما. ويختلف التركيب البنائي للمادة من حالة إلى أخرى حسب قوى الربط المسيطرة على المادة، ففي الغازات تكون قوى الربط بين الجزئيات صغيرة جدا أو منعدمة تقريبا، الأمر الذي معه، تكون جزيئات الغاز متباعدة وفي حركة دائمة في الفراغ الذي يحتويها. وفي الحالة السائلة تكون قوى الربط بين الجزيئات أكبر

منها في الحالة الغازية، لدرجة أنها تجعل الجزيئات متلامسة وتكون حركة الجزئيات في شكل سريان للجزيئات أو تدفق للسائل، وبالتالي تظهر السوائل معامل لزوجة أكبر منه في الحالة الغازية. بينما في الحالة الصلبة تكون قوى الربط كبيرة جدا، الأمر الذي معه، تأخذ المادة شكلاً جامداً ومحدداً، ويكون لها معامل لزوجة متناهي في الكبر، ويكون لها تركيبا بنائياً ثابتاً. وحالة البلازما هي وجود المادة على هيئة أنوية الذرات وتمثل هذه الحالة 99 ٪ من مكونات الكون المنظور. طبعاً، يمكن تحويل المادة من شكل إلى آخر، وذلك بتغير الظروف المحيطة مثل الضغط ودرجة الحرارة. فعند تسخين الصلب يتحول إلى سائل والذي يتحول بدوره إلى غاز بارتفاع درجة الحرارة، وعند رفع درجة حرارة الغاز فإنه يتحول إلى بلازما. وتختلف الخصائص الفيزيائية للمادة طبقاً لحالتها نظراً لاختلاف التركيب البنائي لحالات المادة المختلفة.

يمكن تقسيم المواد الصلبة إلى قسمين رئيسين، وهما: المواد الصلبة المتبلورة (crystalline) والمواد الصلبة غير المتبلورة (noncrystalline or amorphous). ويعتمد هذا التقسيم على التركيب البنائي للمادة الصلبة والذي يعني شكل أو هيئة الترتيب الهندسي للذرات أو الجزئيات في الحالة الصلبة. في المواد المتبلورة، تكون الذرات أو الجزيئات مرتبة بشكل منتظم ومتكرر ودوري مكونة ما يسمى بالبلورة. ويختلف الشكل الهندسي للبلورة من مادة إلى أخرى. على النقيض، لا يكون التركيب البنائي للمواد غير المتبلورة منتظماً تماماً كما في الحالة السائلة، حيث توزع الذرات أو الجزيئات في الفراغ بشكل عشوائي. يطلق على هذه المواد، أحياناً، بالصلب السائل تشبيها بتركيب السائل كما تسمى، أحيانا، مواد زجاجية (glassy materials) تشبيهاً بالتركيب البنائي العشوائي لمادة الزجاج.



تأتي أهمية الحالة الصلبة بسبب كثرة استخداماتها في مختلف التطبيقات التكنولوجية. وتهتم فيزياء الحالة الصلبة، أساسا، بدراسة التركيب البنائي والخصائص الفيزيائية للأنظمة الدورية (أو المواد التي هي أقرب إلى الدورية) والتي يكون تركيز الذرات فيها في الحدود 10^{22}~ ذرة/سم^3 عند الاتزان الديناميكي الحراري. وحيث أن الذرات هي وحدات بناء المادة، وقبل الخوض في فيزياء الحالة الصلبة، فإنه من المفيد أن نقدم مراجعة مختصرة على التركيب البنائي للذرة وبعض الخصائص الذرية للعناصر والتي تؤثر بشكل فعال في الروابط المختلفة التي تؤدي إلى تكون الحالة الصلبة للمادة.

البلورة : هي نظام من الذرات ترتبط فيه كل ذره بمجاوراتها من الذرات بشكل أو نمط يمتد في كل مكان من البلورة . والبلورات أجسام صلبه محاطة بأوجه مستوية ومنتظمة بشكل معين وهذا الانتظام هو انعكاس لترتيب الذرات الداخلية, وتنشأ البلورات من تصلب المواد في الحالة الغازية أو السائلة أو نتيجة للترسيب الكيمياوي في المحاليل المائية.

- إن المادة الصلبة البلورية والتي نتعامل معها في المختبر تتكون من عدد من البلورات الصغيرة الحجم والتي لا يمكن دراستها بصوره منفردة.
- نلاحظ من تعريف البلورة انه قد أهملنا مفهوم الجزيئه في النظام البلوري وحل محله مفهوم الذرات المكونة لهذه الجزيئه.
- يمكن الحصول على الحالة الصلبة البلورية للماد هاما بالتبخير البطئ لمحلولها المشبع أو بواسطة التجميد البطئ لمنصهر تلك المادة حيث تنتج بلورات كبيرة الحجم.
- بعض البلورات كبيرة الحجم وتتكون طبيعيا مثل الكوارتز , المايكا , الكلسايت , الماس.

- إن أي ماده صلبه بلوريه لها حجم وشكل محدد ويمكن أن يتغيرا عند تعرض البلورة إلى قوه معينه , وإذا كانت هذه القوه غير كافيه لتحطيم البلورة فان البلورة ترجع إلى وضعيتها الأولى عند زوال تلك القوه , والقوه التي تبدأ عندها البلورة بتغير حجمها وشكلها وعند زوالها لا ترجع البلورة إلى وضعيتها الأولى تسمى القيمة الحرجة للقوه , مثال ذلك عند تسخين سلك من النحاس يبدأ شكله وحجمه بالتغير وعند زوال التسخين يرجع إلى شكله وحجمه الأصلي, ولكن عند زيادة التسخين إلى المقدار الذي يصهر السلك (القيمة الحرجة) فعند زوال التسخين فان شكله وحجمه يتغيران .

- عند تسليط الضغط على المواد البلورية فان حجمها يصغر وعند ارتفاع درجة حرارتها فإنها تتمدد , إن هذه التغيرات في الحجم نتيجة التغيرات الفيزياويه (ضغط , حرارة) هي خواص نوعيه للمادة البلورية المفردة .

- من خلال تلك الدراسات لوحظ إن البلورات تمتلك الخواص التالية :

1 – تحدد البلورة بأوجه (سطوح) مستوية, وان كل ماده كيمياويه محدده تملك شكلها البلوري الخاص والتي يعرف أو يحدد بالزوايا البينية .

2 – لو إن البلورة تجزأت فان الأسطح الجديدة لكل جزء تكون مستوية وتكون زوايا فيما بينها والتي تعتبر خاصية لهذه المادة البلورية.

3 – الخواص البلورية مثل معامل الانكسار تختلف طبقا إلى اتجاه البلورة على طول مسار القياس.

وحدة الخلية (Unit Cell) :

هي الوحدة الاساسيه التي تضم جميع العناصر الداخلة في تركيب الهيكل البلوري وبنسب معينه وهي وحدة البناء للبلورة وتكون على شكل متوازي السطوح وتتحدد بثلاث حافات (محاور) وثلاث زوايا . ويتكون الهيكل البلوري للمادة المعينة باتحاد الذرات المختلفة أو المتشابهة مع بعضها البعض, وتترتب الذرات داخليا بشكل منتظم بحيث إن كل ذره تأخذ موقعا معينا بالنسبة للذرات الأخرى وان هذا الترتيب يتكرر بصوره منتظمة باى اتجاه من الاتجاهات داخل الهيكل البلوري وهو مايدعى بوحدة الخلية .

وان وحدة الخلية هي جزء البلورة التي يمثل اصغر حجم منها والتي يشبه الشكل العام لها فلو كانت البلورة مكعب فان وحدة الخلية مكعب . إن الوحدات التركيبية لوحدة الخلية قد تكون ذرات أو جزيئات أو أيونات وقد تكون من نوع واحد أو أنواع مختلفة .

أنواع وحدات الخلايا :

1 – وحدة الخلية البدائية: ويرمز لها بالحرف P , حيث إن نقاط الشبكة (الذرات) تقع على رؤوس أضلاع الشكل الهندسي .

2 – وحدة الخلية مركزية الوجه: ويرمز لها بالحرف F , حيث إن هناك نقاط شبكه في مركز كل وجه (سطح) من سطوح ذلك الشكل بالاضافه إلى النقاط الموجودة في رؤوس الإضلاع .

3 – وحدة الخلية مركزية الجسم: ويرمز لها بالحرف I , حيث توجد نقطة شبكه في مركز الشكل الهندسي بالاضافه إلى النقاط الموجودة على الرؤوس .

4 – وحدة الخلية مركزية الوجه الواحد: ويرمز لها بالحرف C , حيث توجد نقطة شبكه على وجهين متقابلين فقط من وجوه الشكل الهندسي بالاضافه إلى النقاط على الرؤوس .

المحاور البلورية (crystallographic axes) :

وهي الحافات الثلاثة لوحدة الخلية, وعلى أساس العلاقة الطولية والزاوية بين هذه المحاور الثلاث قسمت البلورات إلى سبعة انظمه بلوريه .

الشبكة البلورية أو الفراغية (space lattice) :

هو الشكل الهندسي المنتظم التي تنتظم فيه وحدات الخلية المتكررة والتي يعبر عن الترتيب الداخلي المتكرر للذرات حيث فيه إن الوسط الذي يحيط إي وحدة خليه فيه هو نفس الوسط الذي يحيط إي وحدة خليه أخرى فيه, وهناك 14نوع من الشبكات البلورية.

التركيب المتراص المتقارب (close packed structure):

إن الترتيب الذي تأخذه مجموعه كبيره من الكرات ذات الحجم الواحد والموضوعة على شكل مجموعه متراصة متلامسة بعضها مع البعض الآخر يسمى بالتركيب المتراص المتراكم , فقد وجد إن كل كره داخليه في هذا التركيب محاطة ب12 كره أخرى وان الفراغات التي تنشأ بين

هذه الكرات والتي تسمى (holes) سوف تكون بنوعين الأول يسمى tetrahedral hole يتواجد بين أربعة كرات مشكله شكل رباعي السطوح مركزه فجوه (فراغ) والنوع الثاني يسمى octahedral hole يتواجد بين ستة كرات مشكله شكل ثماني السطوح مركزه فجوه أخرى , ولو كان لدينا عدد n من الكرات فان عدد ألtetrahedral holes هو 2n وعدد إل octahedral holes هو n , إن هذه الفجوات يمكن أن تكون مساكن جيده لكرات أصغر من الكرات التي كونتها وبدون إزعاج للنظام , أي بدون تغيير في حالة وطاقة النظام ونتيجة لذلك تتكون لدينا ثلاث أنواع من التراكيب البلورية المختلفة :

الأول : وفيه تحتل الكرات الصغيرة فجوات ال tetrahedral فقط

الثاني : وفيه تحتل الكرات الصغيرة فجوات ال octahedral فقط

الثالث : وفيه تحتل الكرات الصغيرة فجوات ال tetrahedral وفجوات ال octahedral في نفس التركيب البلوري

- في النظام البلوري ألايوني يوجد نوعين من الايونات : النوع الأول أيونات كبيره واعتياديا هي الايونات الموجبة وهي التي تكون التركيب المتراص المتقارب , النوع الثاني أيونات صغيره واعتياديا هي الايونات السالبة وهي التي تحتل الفجوات الرباعية السطح والفجوات الثمانية السطح .
- وجد إن هناك علاقة بين عدد الايونات السالبة التي تتجمع حول الايون الموجب وإنصاف أقطارها وهذا العدد يسمى بعدد التناسق للايون الموجب والجدول التالي يبين هذه العلاقة

radius of large ion B	radios of small ion A	No. of B around A	geometrical shape
1	0.414	6	Octahedral
1	0.225	4	Tetrahedral
1	0.155	3	Trigonal

وعدد التناسق للايون السالب هو عدد الايونات الموجبة التي تتجمع حوله في النظام البلوري

تصنيف المواد البلورية

تصنف المواد البلورية اعتمادا على نوع الاصره بين مكوناتها إلى:

1 – البلورات الجزيئية (molecular crystals) : تتألف البلورة فيها من جزيئات مميزه وتمسك الجزيئات معا بواسطة قوى ضعيفة (قوى لندن, أواصر هيدروجينية, ثنائي القطب–ثنائي القطب) وبصورة عامه لها درجات انصهار منخفضة وهي غير موصله للكهرباء وغير صلدة نوعما, ومن أمثلتها النفثالين الصلب , اليود , الثلج الجاف (CO_2), الماء , السكر وغيرها .

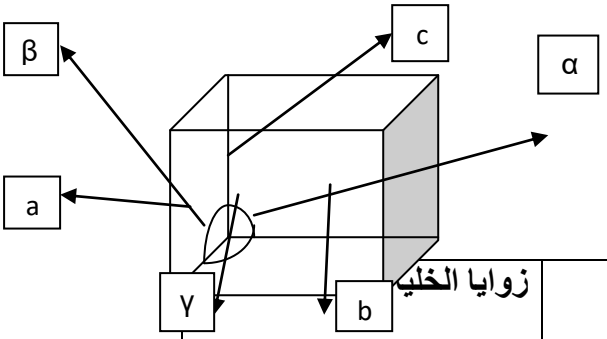
2 – البلورات ألايونيه (ionic crystals) : تتألف البلورة فيها من ايونات موجبه وايونات سالبه تحيط بعضها البعض وان القوى التي تربطها هي قوى تجاذب الكتروستاتيكي , وتمتاز هذه البلورات بدرجات الانصهار العالية وتتراوح صلادتها بين القوية إلى الضعيفة وتمتاز بأنها غير موصله للكهربائية في حالتها الصلبة في حين تكون منصهراتها موصله جيده للكهربائية, ومن أمثلتها ملح الطعام , كربونات الكالسيوم وغيرها .

3 – البلورات التساهميه (covalent crystals) : إن الوحدات الاساسيه لبناء بلوراتها هي الذرات حيث ترتبط هذه الذرات مع مجاوراتها بواسطة أواصر تساهميه وتمتاز بدرجات الانصهار العالية والصلادة العالية وهي غير موصله للتيار الكهربائي , ومن أمثلتها الماس والسيليكا وكاربيد التنكستن وكاربيد السيلكون وغيرها .

4 – البلورات الفلزية (metallic crystals) : إن الوحدات الاساسيه لبناء بلوراتها هي الايونات الموجبة التي ترتبط بواسطة الاصره الفلزية حيث تتكون هذه الاصره عندما تفقد الذرات الكتروناتها الخارجية وتتحول إلى ايونات موجبه حيث ترص هذه الايونات مع بعضها تاركه الالكترونات المحررة منتشرة بصوره حرة بين هذه الايونات حيث تعمل على توليد التجاذب بينها , وتمتاز بدرجات انصهار عاليه إلى واطئه وصلادة عاليه إلى واطئه وهي ذات توصيلية كهربائية عاليه جدا , ومن أمثلتها الصوديوم , الحديد , النحاس وغبرها

الانظمه البلورية

استنادا إلى اختلاف أطوال المحاور البلورية والزوايا التي تكونها في وحدة الخلية فقد وجد ان هناك سبعة انظمه بلوريه كل نظام يأخذ شكلا هندسيا معينا وهي كالأتي :



cubic

النظام البلوري	حافات الخلية	زوايا الخلية
المكعبي cubic	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{o}$
رباعي tetragonal	a = b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{o}$
المعين القائم orthorhombic	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{o}$
أحادي الميل monoclinic	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \gamma = 90^{o}$ $\beta \neq 90^{o}$
ثلاثي الميل triclinic	a ≠ b ≠ c	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{o}$
سداسي hexagonal	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \beta = 90^{o}$ $\gamma = 120^{o}$
ثلاثي trigonal	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^{o}$

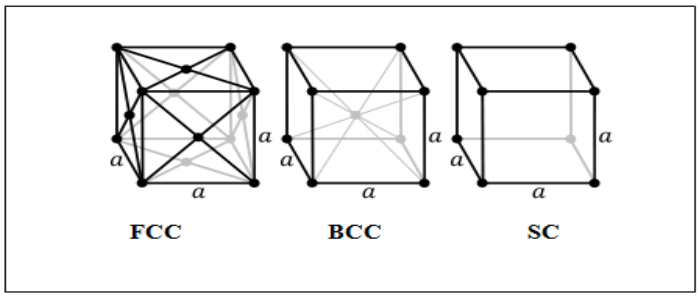
نبذة مختصرة عن التركيب البلوري والانظمة البلورية وانواع الشبائك :-

في علم المعادن وعلم البلورات يطلق مصطلح البنية البلورية على الترتيب الفريد للذرات في البلورة. تتكون البنية البلورية من مجموعة من الذرات مرتبة بطريقة معينة في الشبكة البلورية. من الممكن تخيل وحدات البنية البلورية على أنها مجموعات من الذرات على شكل صناديق صغيرة تدعى الخلايا (وحدة خلية)، وبتكرار هذه الخلايا في الفضاء الثلاثي الأبعاد تتشكل البلورة العينية .

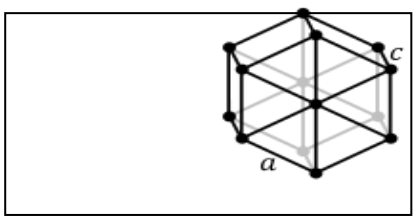
من أهم خصائص البلورة هو طول أضلاع الخلية ، تسمى (a ،b ،c) والزوايا بين أضلاع الخلية وتسمى (α، β،γ) وتلك الستة احداثيات تسمى احداثيات الشبكة البلورية. تلعب البنية البلورية دوراً هاماً في تحديد خصائص البلورة .

تنقسم الانظمة البلورية الى سبعة انظمة تضم اربعة عشر شبيكة برافيسية (نسبة الى العالم برافيس) وهي :-

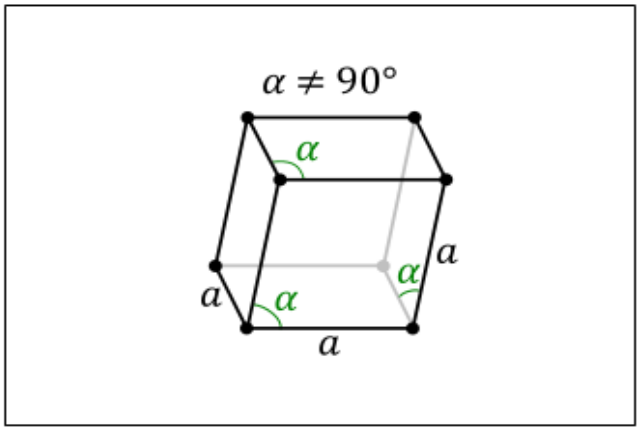
1) النظام المكعب cupic:- ويشمل ثلاثة شبائك هي المكعب البسيط ((Simple Cubic (SC) , المكعب متمركز الجسم((Body Centered Cubic (BCC) والمكعب متمركز الاوجه (Face Centered Cubic (FCC))وكما مبين بالشكل ادناه



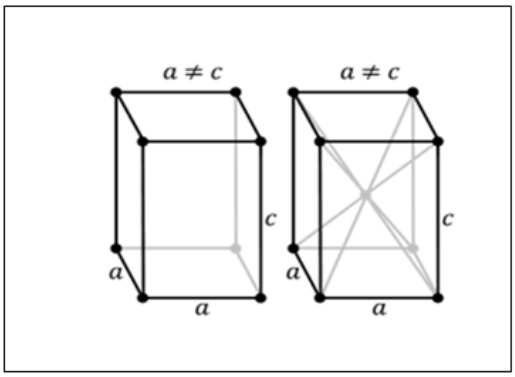
2) النظام السداسي Hexagonal :- وكما مبين بالشكل ادناه



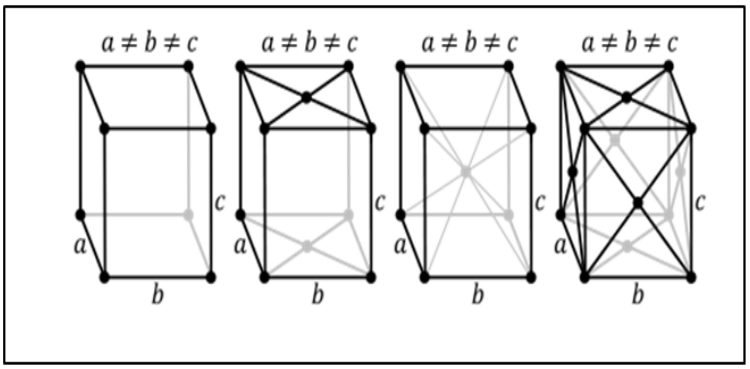
3) النظام الثلاثي Rhombohedral :- ويضم شبيكة واحدة وكما مبين بالشكل ادناه



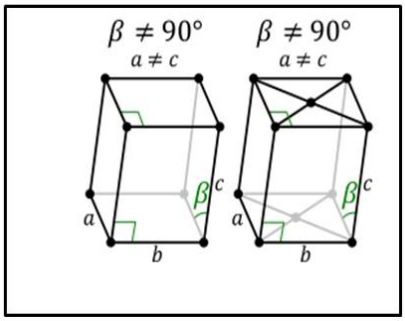
4) النظام الرباعي Tetragonal: - ويضم شبيكتان كما مبين بالشكل ادناه



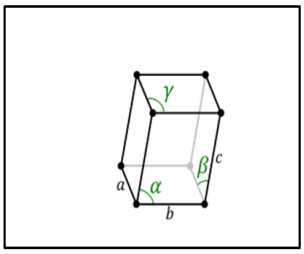
5) النظام المعيني المستقيم Orthorhombic :- ويضم اربعة انواع من الشبائك كما مبين بالشكل ادناه



6) النظام الأحادي الميل Monoclinic :- ويضم شبيكتان وكما مبين بالشكل ادناه



7) النظام الثلاثي الميل Triclinic :– ويضم شبيكة واحدة كما مبين بالشكل ادناه



يمكن الاستعانة بالجدول ادناه لحساب حجم وحدة الخلية ولكل من الانظمة البلورية السبعة

Lattice system	Volume
Triclinic ثلاثي الميل	$abc\sqrt{1-\cos^2\alpha-\cos^2\beta-\cos^2\gamma+2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma}$
Monoclinic أحادي الميل	$abc\,\sin\alpha$
Orthorhombic معيني مستقيم	abc
Tetragonal رباعي	a^2c
rhombohedral ثلاثي	$a^3\sqrt{1-3\cos^2\alpha+2\cos^3\alpha}$
Hexagonal سداسي	$\frac{3\sqrt{3}\,a^2c}{2}$
Cubic مكعب	a^3

المستويات البلورية ومعاملات ميلر-:

وان لكل مستوى من Atomic Planes تتكون البلو ا رت من مستويات ذرية المستويات موقع واتجاه داخل البلورة الواحدة.

معاملات ميلرMiller Indices

مؤشرات ميلر البلورية (Miller index) في علم البلورات وعلم المعادن قيم تستخدم لتعريف المستويات والاتجاهات في أنظمة البلورات. وقد ابتكرت تلك الطريقة لوصف المستويات والاتجاهات في البلورة من العالم وليام ميلر عام 1839.

لتلك الطريقة استخدامات في علم البلورات من أجل التعريف بالمستويات المختلفة التي تتوزع فيها الذرات أو الأيونات في البلورة. كما تستخدم تلك المؤشرات في البحوث المتعلقة بتعيين البناء البلوري للمعادن والأملاح بواسطة حيود الأشعة السينية وحيود الإلكترونات وحيود النيوترونات. فخلال حيود الأشعة السينية مثلا، تنعكس أشعة إكس على مجموعة من المستويات المتوازية في البلورة مثلما تنعكس أشعة الضوء على المرآة، ويمكن بمعرفة طول موجة أشعة إكس الساقطة على البلورة معرفة زاوية انكسارها وقياسها. يمكن بواسطة تلك القياسات التعرف على النظام البلوري للمعدن، وإذا كنا نقوم بدراسة أحد المركبات أو الأملاح تعطينا شدة قياس الأشعة المنعكسة من البلورة مواضع توزيع الذرات المختلفة أو الأيونات في البناء البلوري.

معاملات ميلر /هي طريقة رياضية وصفية لتوجه المستوي البلوري أو مجموعة المستويات البلورية ضمن الشبكة البلورية المتعلقة بخلية الوحدة والتي ابتكرها العالم William Hallowes Miller.ميلر وهذه الطريقة تكون غير معتمدة على الزوايا الصلبة للبلورة بل تعتمد على أرقام ثلاثة والتي تسمى بمعاملات ميلر (L , k , h) . هذه المعاملات مفيدة لفهم العديد من الظواهر في علم المواد وخصوصا البلوارت المفردة وشكل البنية التركيبية الدقيقة للمواد من خلال استخدام حيود الاشعة السينية والعيوب البلورية وحركتها والتي تحدد الخواص الميكانيكية للمواد.

تتلخص طريقة تمثيل معاملات ميلر بما ياتي-:

1- نحدد قيم المحاور الثلاثة (x,y,z).

2- ناخذ مقلوب قيم تلك المحاور.

3- ثم نوحد المقامات بأصغر الأعداد الصحيحة بشرط أن يكون القاسم المشترك الأكبر بينها يساوي الواحد فتكون تلك الأعداد هي معاملات ميلر

4- نجد القيم الجديدة ونضعها داخل قوسين صغيرين من دون وضع اشارة الفارزة بين قيم المعاملات وكالاتي ( ) ليمثل المستوي المرسوم

ملاحظه مهمة / أذا كانت قيمة أحدى المحاور سالبة فننقل مركز المكعب إلى اتجاه القيمة السالبة.

مثال: في بلورة مكعبه الشكل ارسم المستويات (1 2 3) (111)

الحل: في الشكل الاول لدينا التقاطعات

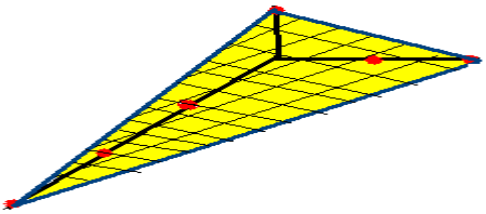
- x=3a , y=2b , z=1c
- وبالتالي فان مقلوب الأعداد هو 1/1 : 1/2 : 1/3
- وبتوحيد المقامات حيث المقام المشترك (6) نجد:

6/6 : 3/6 : 2/6

ومنه فان الأعداد 6 و 3 و 2 هي معاملات ميلر

- وتكتب h=2 , k=3 , l=6

- وبشكل مختصر (236)

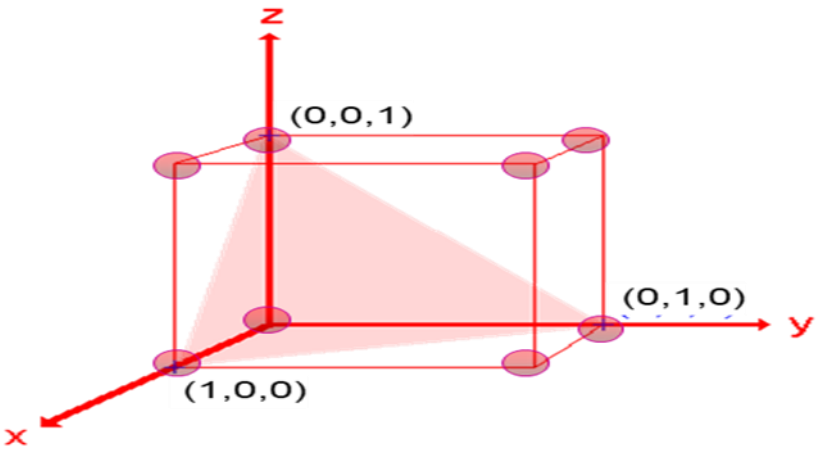


في الشكل الثاني لدينا التقاطعات

- x=1a , y=1b , z=1c
- وبالتالي فان مقلوب الأعداد هو 1/1 : 1/1 : 1/1

ومنه فان معاملات ميلر هي111 وتكتب h=1 , k=1 , l=1

وبشكل مختصر (111)



مثال / ارسم المستويات الآتية في بلورة مكعبة الشكل ؟

1- (100)

2- (010)

3- (001)

الحل/

1- (100)

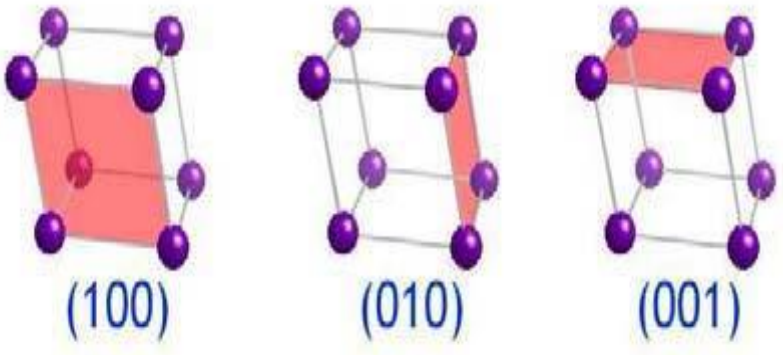
إذن معاملات ميلر لهذا المستوي هي(∞∞1)

2-(010)

أذن معاملات ميلر لهذا المستوي هي(∞1∞)

3- (001)

اذن معاملات ميلر لهذا المستوي هي(1∞∞)



مثال/ ارسم المستويات آلاتية في بلورة مكعبة الشكل ؟

1- (101)

2- (110)

3- (011)

الحل:

1- (101)

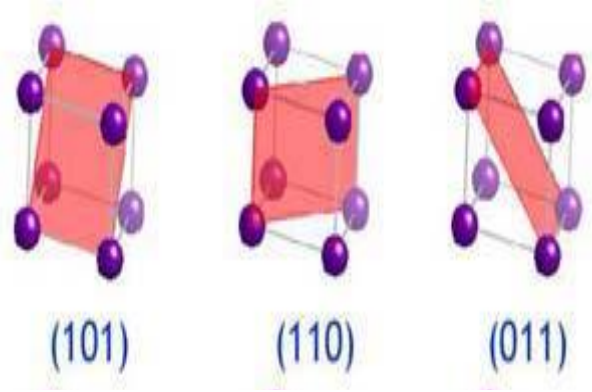
اذن معاملات ميلر لهذا المستوي هي (1 ∞1)

2- (110)

اذن معاملات ميلر لهذا المستوي هي (∞11)

3-(011)

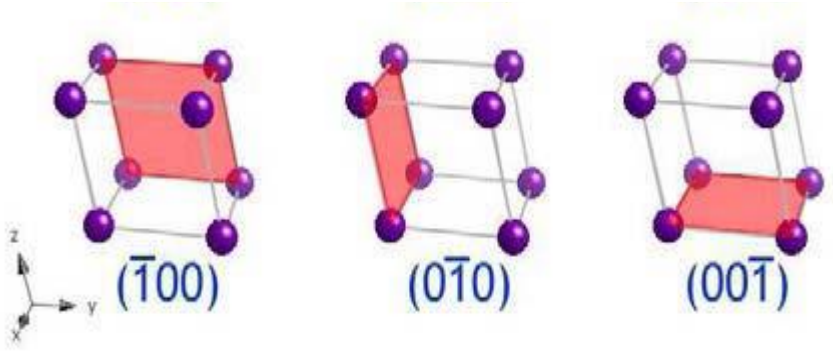
اذن معاملات ميلر لهذا المستوي هي(∞11)



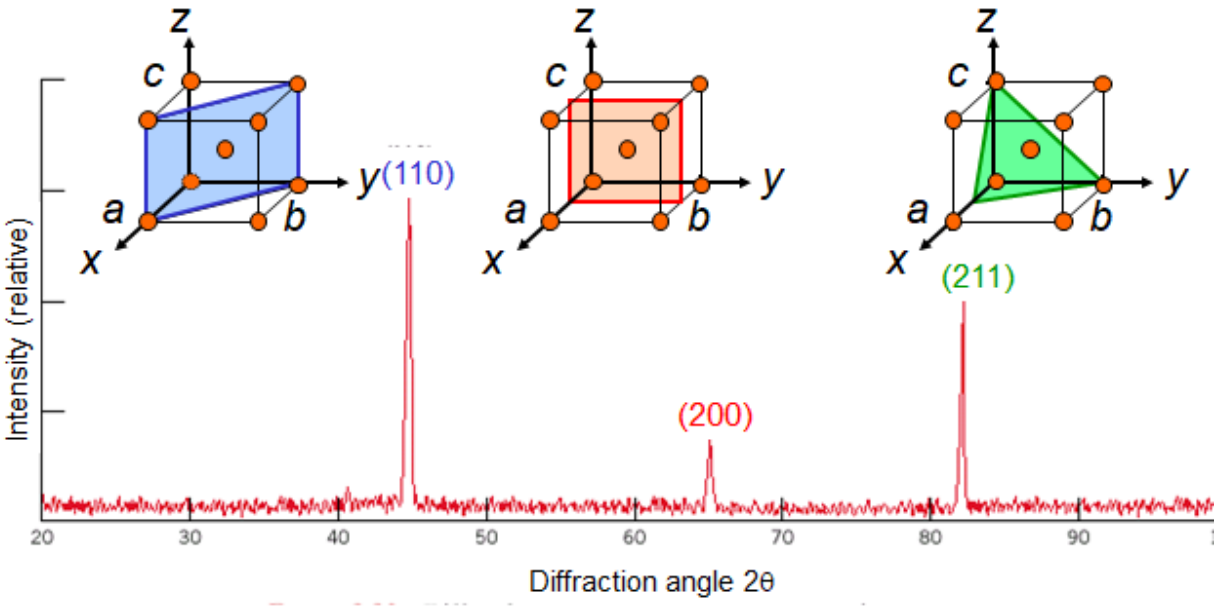
المحاور السالبه

أذا كانت قيمة أحدى المحاور سالبة فننقل مركز المكعب إلى اتجاه القيمة السالبة

فمثلا المستوي (100) يتحرك مركز المكعب باتجاه المحور الاكسي الى اتجاه القيمه السالبه والمستوي (010) والمستوي (001) كما في الشكل ادناه



وبالتسبة للمستويات الاخرى السالبه ممكن ان توضح بالشكل ادناه



ـ دراسة الشبكية البلوريه وتحديد معلماتها الاساسية

ـ تتكون البلورة من عدد كبير جدا من وحدات او خلايا متشابهة على شكل متوازي السطوح تكرر نفسها بصورة دورية منتظمة . ان دراسة التركيب البلوري يعني معرفة شكل ومواصفات خلية الوحدة للبلورة وما تحويه هذه الخلية من ذرات من حيث النوع والعدد والموقع وطريقة ارتباط بعضها مع بعض .

يدرس التركيب البلوري بدلالة بنية او شبيكة فضائية (Space Lattice) دورية واحدة مع مجموعة من الذرات ترافق كل نقطة من نقاط الشبيكة الفضائية بصورة تماثلية وتدعى هذه المجموعة من الذرات بالاساس (Basis) وهذا الاساس يعيد نفسه في الفضاء ليكون البلورة ويمكن التعبير عن ذلك بعلاقة رياضية بسيطة هي:

شبيكة فضائية + أساس = تركيب بلوري

أن فكرة الشبيكة الفضائية هي فكرة رياضية مجردة ويقصد بها مجموعة من النقاط المرتبة بنظام ما وتعيد نفسها بصورة دورية في الفضاء. هذا يعني ان اي تجمع للنقاط حول نقطة ما من نقاط الشبيكة يكون مماثلا للتجمع حول اي نقطة آخرى من نقاط الشبيكة تسمى الشبيكة الفضائية عادة بالشبيكة البرافيسية نسبة الى العالم برافيس (Bravais Lattice).

تختلف شبائك برافس الاربع عشر عن بعضها البعض من حيث شكل وحدة الخلية وانواع التماثل التي تمتلكها وهي مقسمة الى سبعة أنظمة وابسط انواع هذه الشبائك هي الشبيكة الاولية او المكعب البسيط. يعد النظام المكعب من ابسط انواع الانظمة البلورية ويمتلك ثلاثة انواع من الشبائك البرافزية وهذا الانظمة الثلاثة هي كما يلي :

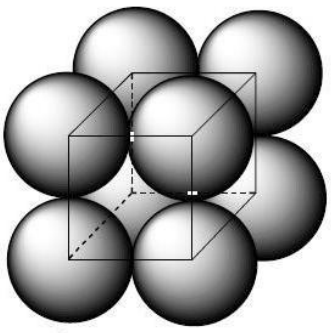
1- النظام المكعب البسيط Simple Cubic (SC)

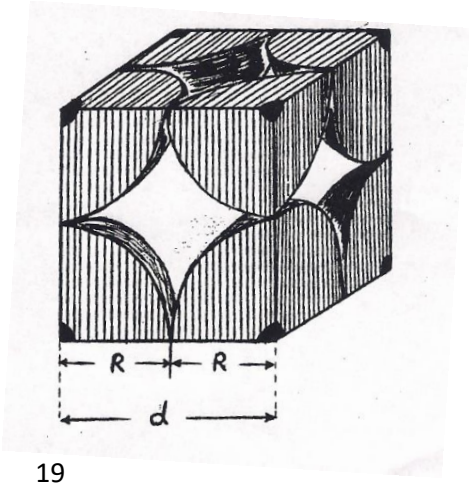
2- النظام المكعب متمركز الجسم Body Centered Cubic (BCC)

3- النظام المكعب متمركز الاوجه Face Centered Cubic (FCC)

<u>اولا:- النظام المكعب البسيط</u>

في هذا النوع تكون الشبيكة الفضائية على شكل مكعب ويكون في كل ركن من اركان اي خلية نقطة شبيكة واحدة . أن النقطة الواحدة الموجودة عند كل ركن تكون مشتركة مع ثمانية خلايا متلاصقة وعليه تكون حصة الخلية الواحدة من هذه النقطة هي (8/1) نقطة فقط. لذلك تحتوي كل خلية وحدة اساسية اولية نقطة شبيكة واحدة فقط. يبين الشكل (1) خلية المكعب البسيط





الشكل (1) خلية المكعب البسيط.حيث a: طول ضلع الخلية, R: نصف قطر الذرة.

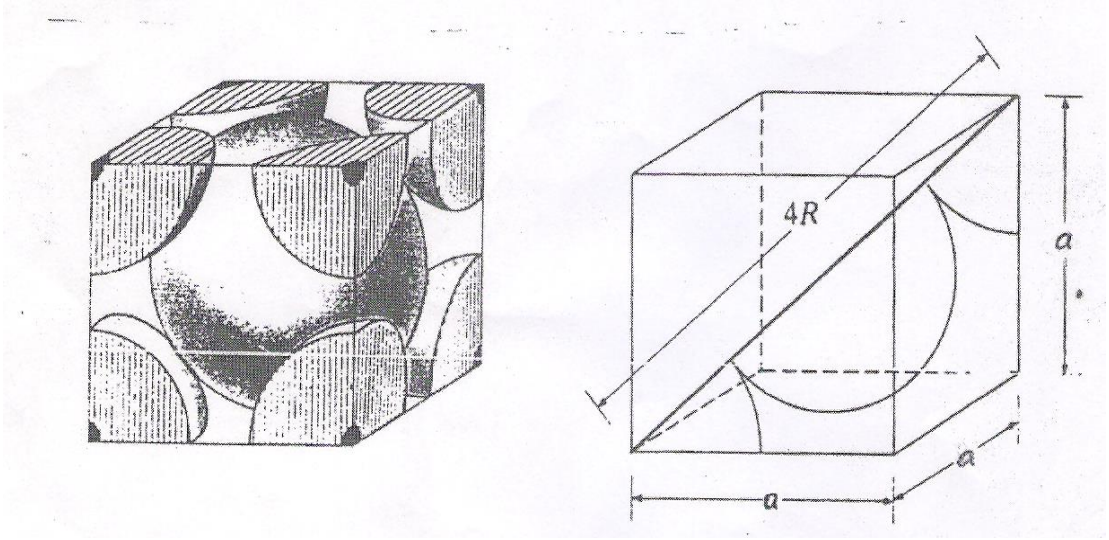
عامل الملئ Full factor (F.F)

يعرف عامل الملئ (F.F) او الرص بانه اكبر نسبة من الحجم الذي يمكن ان تشغله الذرات الموجودة في خلية الوحدة ويمكن حسابه من العلاقة التالية:

معامل الملئ = (حجم الذرة الواحدة * عدد الذرات في وحدة الخلية)/ حجم الخلية

ثانيا:- المكعب متمركز الجسم

في هذا النوع تكون الشبيكة الفضائية على شكل مكعب ويكون في كل ركن من اركان اي خلية نقطة شبيكة واحدة بالاضافة الى نقطة في المركز . وكما في حالة المكعب البسيط فالنقطة الواحدة الموجودة عند كل ركن تكون مشتركة مع ثمانية خلايا متلاصقة وعليه تكون حصة الخلية الواحدة من هذه النقطة هي (8/1) نقطة فقط. لذلك تحتوي كل خلية وحدة اساسية اولية على نقطتي شبيكة و يبين الشكل (2) خلية المكعب المتمركز الجسم.

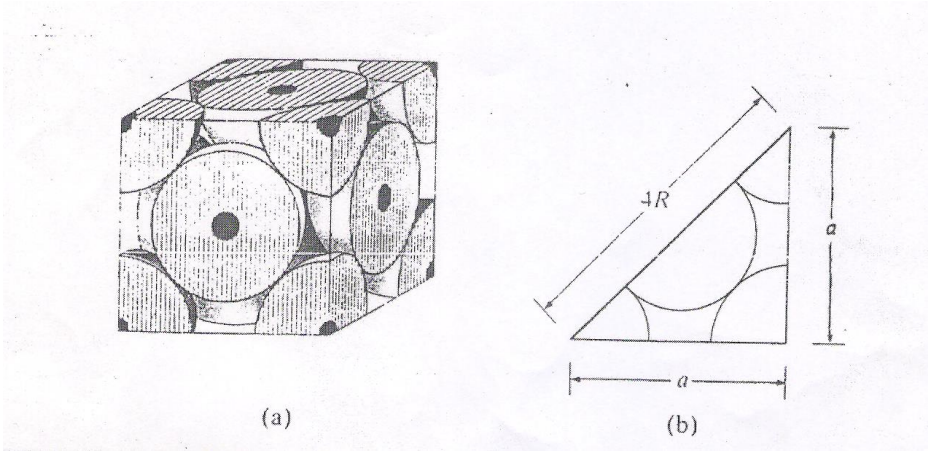


الشكل (2) خلية المكعب

ب متمركز الجسم

ثالثا:- المكعب متمركز الاوجه

في هذا النوع تكون الشبيكة الفضائية على شكل مكعب ويكون في كل ركن من اركان اي خلية نقطة شبيكة واحدة بالاضافة الى نقطة في مركز كل وجه . وكما في حالة المكعب البسيط فالنقطة الواحدة الموجودة عند كل ركن تكون مشتركة مع ثمانية خلايا متلاصقة وعليه تكون حصة الخلية الواحدة من هذه النقطة هي (8/1) نقطة فقط,امابالنسبة للنقطة الموجودة على كل وجه فتكون مشتركة مع خليتين متلاصقتين فتكون حصة كل خليه منها (2/1)وعليه تحتوي كل خلية وحدة اساسية اوليةعلى اربع نق اط شبيكة و يبين الشكل (3) خلية المكعب المتمركزالاوجه.



الشكل (3) خلية المكعب متمركز الاوجه

دراسة التركيب البلوري بأستخدام الاشعة السينية X-Ray

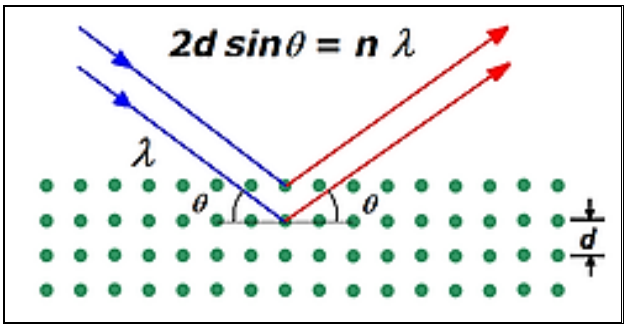
- تمكن العالم براغ من ايجاد علاقة مهمة لتعيين المسافة بين المستويات البلورية (d) بأستخدام الاشعة السينية . ان موجات الاشعة السينية التي تسقط على سطح بلورة تنعكس من المستويات المتوازية فقط عندما تتداخل الحزمة المنعكسة تداخلا بناءا .

لنفرض ان حزمة اشعة سينية احادية التردد بطول موجي (λ) اسقطت على بلورة بزاوية (θ) كما مبين في الشكل (1) واذا كانت المسافة بين المستويات المتوازية هي (d) فان فرق المسار بين حزمات الاشعة المنعكسة من السطح الاعلى والسطح المجاور هو :

$$2d\sin\theta = n\lambda \qquad \text{.....(1)}$$

حيث ان (n) رتبة الحيود وهذه العلاقة هي قانون براغ ويتضح منها ان الانعكاس عن المستويات المتوازية التي تبعد عن بعضها بمقدار (d) لا يتم الا لمقادير معينة من الزاوية (θ) اي زاوية براغ . كما يشترط ان يكون الطول الموجي مساويا او اقل من ضعف هذه المسافة اي ان:

$$\lambda \leq 2d \qquad \text{.....(2)}$$



الشكل (1) حيود الاشعة السينية عن المستويات البلورية المتوازية.

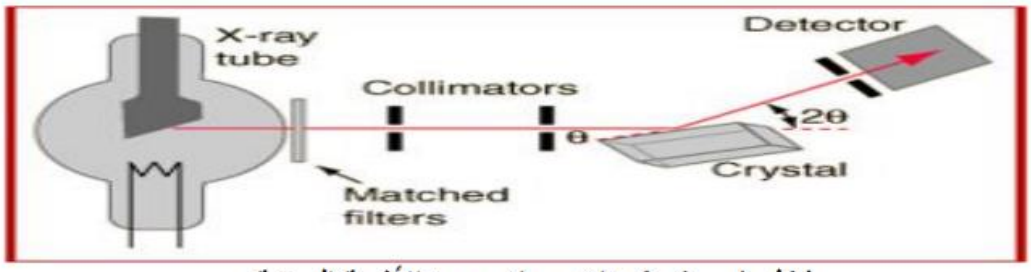
اذا كانت الرتبة (n) هي الاولى ,فان زاوية براغ ستكون مساوية ل:

$$\theta = \sin^{-1}(\lambda/2d) \qquad \text{.....(3)}$$

ومن قانون المسافات العمودية بين المستويات نجد ان :

حيث(a) هي المسافة بين الذرات

(h,k,l) هي معاملات ميل



شكل ( ) مكونات جهاز حيود الأشعة السينية

في قياس حيود الأشعة السينية، توضع حبات الكريستال على مقياس الزوايا ويتم تدويرها مع تسليط الأشعة السينية عليها، مما ينتج عنه نمط حيود عشوائي مكون من نقاط متباعدة تسمى بالانعكاسات . يتم أخذ صور من جميع الزوايا لصور ثنائية الأبعاد لكي يتم تحويلها إلى صور ثلاثية الأبعاد تمثل كثافة الإلكترونات داخل الكريستال ويتم حسابها عن طريق متسلسلة فورييه، جنبا إلى جنب مع البيانات الكيميائية المعروفة للعينة. تنتج دقة ضعيفة(صورة غير واضحة) و أخطاء صغيرة إذا كان حجم البلورات صغيرا جدا أو كان شكلها غير متناسقا. ترتبط دراسة البلورات بالأشعة السينية بعدة طرق أخرى لتحديد الوزن الجزيئي. عدة أنماط حيود أخرى يمكن إنتاجها عن طريف نثر الإلكترونات أو النيوترونات والتي أيضا يتم تحليلها عن طريق متسلسلة فوريير. إذا كان الحصول على كريستال بالحجم المناسب صعبا، يمكن استخدام طرق أخرى بالأشعة السينية للحصول على معلومات ولكن بتفاصيل أقل. بعض من هذه الطرق : الحيود بالألياف، الحيود باستخدام البودرة وقياس حيود الأشعة السينية ولكن بزاوية أقل. إذا كانت العينة المتوفرة صغيرة جدا (بحجم النانو) , أو من الصعب الحصول على هذه العينة على شكل كريستال، يمكن استخدام طريقة قياس الحيود عن طريق الإلكترونات بدلا من الأشعة السينية للحصول على الوزن الجزيئي للعينة.

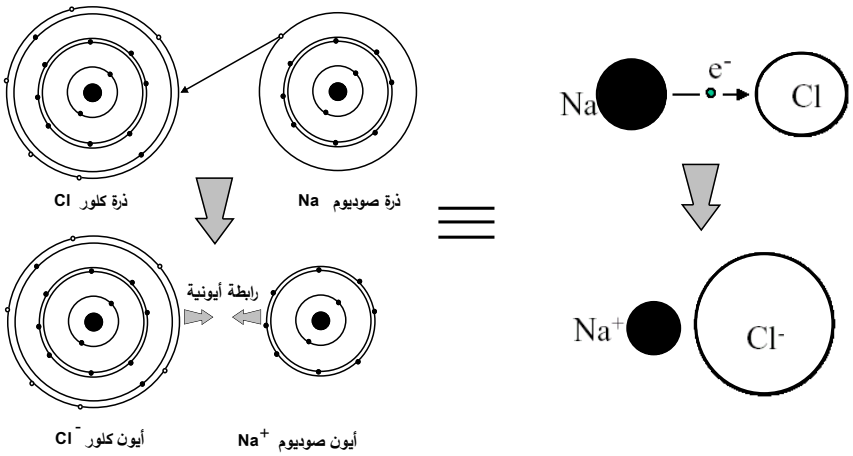
- أنواع الروابط TYPES OF BONDS

تتعدد أنواع الروابط بين ذرات العناصر المختلفة طبقا لأنواع الذرات وظروف الارتباط. وتؤدي الروابط إلى تراص بلايين الذرات بشكل متقارب وتكون الجسم في الحالة الصلبة. يوجد العديد من أنواع الروابط في الجسم الصلب، منها روابط أساسية مثل: الروابط الأيونية، والروابط التساهمية، والروابط الفلزية، والروابط الهيدروجينية، ومنها روابط ثانوية مثل الرابطة الجزيئية التي تتضمن قوى فان درفال. سنناقش فيما يلي خصائص وظروف تكون كل نوع من هذه الروابط.

1- الرابطة الأيونية IONIC BOND

تتكون الرابطة الأيونية غالبا بين الفلزات واللافلزات، وتعد هذه الرابطة من أقوى الروابط الموجودة في الحالة الصلبة. تتميز ذرات الفلزات بكبر حجمها وصغر جهد تأينها، وبالتالي سهولة فقد الذرة إلكتروناً والتحول إلى أيون موجب (كاتيون). على النقيض، تتميز ذرات اللافلزات بصغر حجمها وكبر جهد تأينها وكبر ميلها الإلكتروني، وبالتالي سهولة اكتساب الذرة إلكتروناً والتحول إلى أيون سالب (أنيون). تكون الأيونات السابقة أكثر استقراراً من الذرات لأن تركيب الذرات يتحول إلى تركيب يشبه تركيب ذرات أقرب غاز خامل. بناءً على ما سبق، عند تقارب ذرة فلز وذرة لا فلز يتم انتقال إلكترون من ذرة الفلز إلى ذرة اللا فلز ويتكون كاتيون وأنيون ذات شحنات مختلفة، الأمر الذي يؤدي إلى حدوث قوى تجاذب كهربائي بينهما وتكوين رابطة أيونية. تعتبر بلورة ملح الطعام (كلوريد الصوديوم، NaCl) خير مثال لتكون مثل هذه الرابطة.

يكون التركيب الإلكتروني لذرة الصوديوم ($_{11}Na^{23}$) هو $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$، بينما يكون التركيب الإلكتروني لذرة الكلور ($_{17}Cl^{35}$) هو $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$، ومن هذا التركيب يتضح أن ذرة الصوديوم تميل إلى فقد الإلكترون الموجود في المدار الأخير($3s^1$) وتتحول إلى كاتيون ذو تركيب $1s^2 2s^2 2p^6$ وهو تركيب أكثر استقرارا لأنه يشبه تركيب أقرب غاز خامل($_{10}Ne^{20}$). على الجانب الآخر نجد أن ذرة الكلور تميل إلى اكتساب إلكترون (ينقصها في المدار الأخير، $3p^5$) وتتحول إلى أنيون ذي تركيب $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ وهو تركيب أكثر استقراراً لأنه يشبه تركيب أقرب غاز خامل ($_{18}Ar^{40}$)، أيضا. وبذلك عندما تتقارب الذرتين إلى مسافة كافية يحدث انتقال إلكترون من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلور ويتكون أيون صوديوم موجب (Na^+) وأيون كلور سالب (Cl^-) ويتجاذب الأيونان بقوى تجاذب كولومية (Coulomb forces) ويتكون جزئ كلوريد الصوديوم، كما يوضح الشكل 1-8.



شكل 1-8: تكون الرابطة الأيونية بين الصوديوم والكلور.

تنتظم أيونات الصوديوم والكلور في الشبيكة البلورية بشكل مرتب ومتكرر وتكون بلورة ملح الطعام التي لها الشكل المكعبي، كما هو مبين بالشكل 1-7.

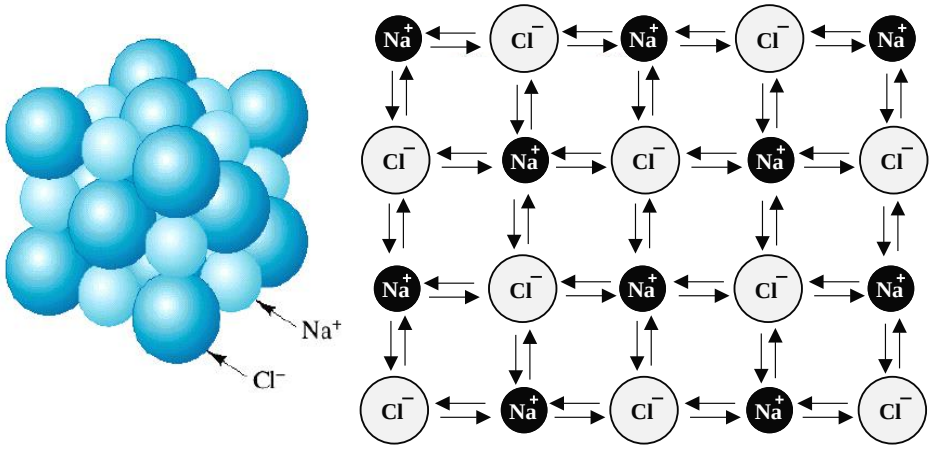
في بلورة كلوريد الصوديوم تنشأ بين أيونات الصوديوم وأيونات الكلور قوى تجاذب وقوى تنافر وتكون محصلتها النهائية قوى جاذبة. يمكن ايجاد القوة بين الذرات F(r) من الجهد U(r) وذلك باستخدام العلاقة الآتية

$$F(r) = -\frac{U(r)}{r} \qquad 1\text{-}16$$

حيث r هي المسافة التي تفصل الأيونات. بالرجوع إلى الشكل 1-7، فإن قوى الجذب الكولومي بين الأيون الموجب والأيون السالب تعطى بالعلاقة

$$F_A = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{e^2}{r^2} \qquad 1\text{-}17$$

حيث ($\frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2}$) هو ثابت كولوم، e هي شحنة الإلكترون ($1.602\times10^{-19}C$). يبين الشكل 1-9 اعتماد قوى الجذب الكولومي على المسافة بين الأيونات. عندما تقترب الأيونات من بعضها بشكل كبير تتولد قوى تنافر تنشأ عن تداخل السحابات الإلكترونية وتكون عبارة عن قوى قصيرة المدى ويمكن كتابتها على الصورة



شكل 1-9: الشبيكة البلورية لبلورة ملح الطعام فى بعدين وفى ثلاثة أبعاد.

$$F_R = \frac{B}{r^n} \qquad 1\text{-}18$$

حيث B و n مقادير ثابتة. ومن المعادلات السابقة يمكن الحصول على محصلة طاقات التجاذب والتنافر على الصورة

$$E_t = -\frac{e^2}{r} + \frac{B}{r^n} \qquad 1\text{-}19$$

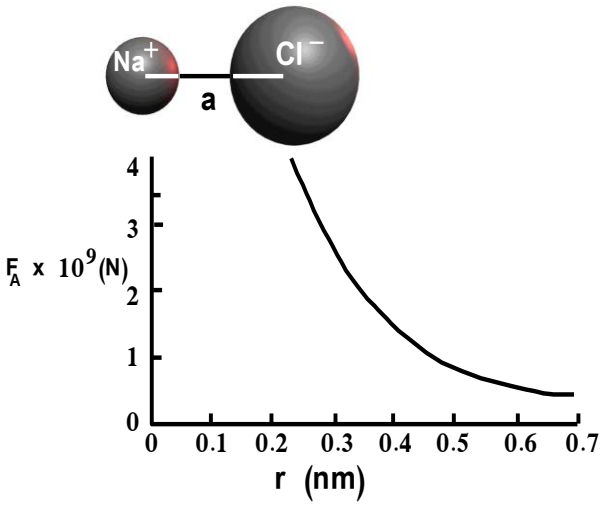
يوضح الشكل 1-10 اعتماد الطاقات على المسافة r، ومن الشكل يتضح أن القيمة المطلقة لطاقة التجاذب تزداد مع تناقص المسافة بين الأيونين، في نفس الوقت تزداد طاقة التنافر.

عندما تصل المسافة بين الأيونين إلى أقل ما يمكن ($r = r_o$) تتساوى قوى التجاذب مع قوى التنافر وتكون محصلة الطاقة أقل ما يمكن، وعندئذ تتكون الرابطة ويستقر وضع الأيونات (الشكل 1- 11).

يمكن كتابة الطاقة الكلية للشبيكة على الصورة

$$E_t = -NA\frac{ke^2}{r_o}\left(1-\frac{1}{n}\right) \qquad 1\text{-}20$$

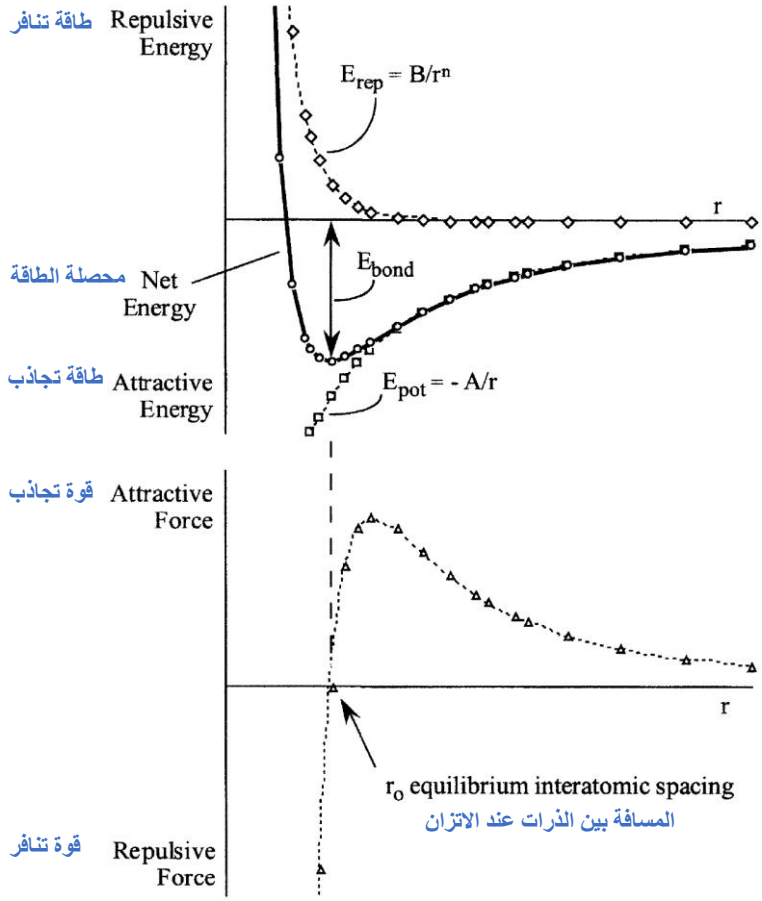
حيث A يمثل ثابت لنوع التركيب، ويعرف بثابت ماديلنج، و N هو عدد جزيئات كلوريد الصوديوم في الشبيكة.



شكل 1-10: اعتماد قوى كولوم على المسافة بين الأيونات.

يمكن تلخيص بعض ملامح الرابطة الأيونية في النقاط الآتية:

- الرابطة الأيونية هي رابطة تنشأ نتيجة انتقال إلكتروني من ذرة إلى أخرى.
- تحدث هذه الرابطة في مركبات المواد الصلبة وليست بين ذرات العنصر الواحد.
- الرابطة الأيونية هي رابطة غير موجهة ولذلك تتمتع المركبات بكثافة عالية وعدد تناسقي كبير.
- الرابطة الأيونية هي رابطة قوية ولذلك تتمتع المركبات بنقطة انصهار عالية ومعامل صلابة كبير.
- وحيث أن الإلكترونات في الرابطة الأيونية تحتاج كمية طاقة كبيرة جدا لكي تتحرر، فإن المركبات تكون عازلة للكهرباء (ماعدا بالقرب من نقطة الانصهار) وتكون شفافة للأشعة فوق البنفسجية (UV).



شكل 1-11: (أ) منحنيات الطاقة مقابل المسافة فى حالة الرابطة الأيونية. الطاقة المحصلة هي المجموع الجبري لطاقات التنافر والتجاذب، والتي تسبب بئر طاقة. (ب) منحنى القوة المقابلة مقابل المسافة. هذا المنحنى مستنتج من منحنى محصلة الطاقة المبين في (أ). لاحظ أنه عندما تكون الطاقة قيمة صغرى فإن القوة المحصلة تكون صفراً.

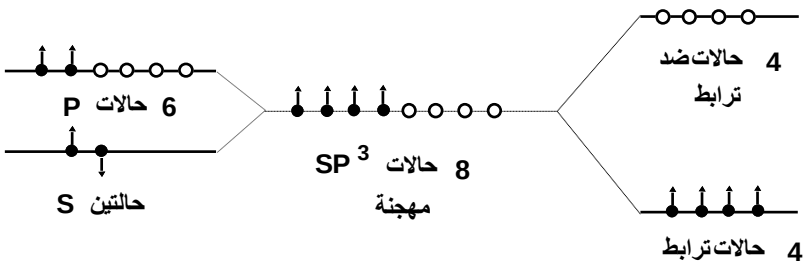
1-5-2 الرابطة التساهمية COVALENT BOND

تنشأ الرابطة التساهمية بين الذرات عندما تساهم كل ذرة، بالتساوي، بإلكترونات تكافؤ مع بعضها البعض، حيث تكتمل الأغلفة الخارجية، وتصل كل من الذرتين إلى حالة أكثر استقراراً. تحدث هذه الرابطة بين الذرات المتشابهة (كما في حالة جزيئات الغازات أو جزيئات العنصر الصلب)، كما تحدث بين الذرات المختلفة (كما في حالة المركبات التساهمية).

يتحدد عدد الذرات التي ترتبط معا لتكوين رابطة تساهمية طبقا لنظرية الثمانيات (Octa rule) التي وضعها كوسل ولويس عام 1916م. تنص هذه النظرية على أنه بخلاف الهيدروجين والليثيوم والبريليوم تميل ذرات جميع العناصر إلى الوصول للتركيب الثماني (أي يكون في المدار الأخير 8

إلكترونات). وبناءً على ذلك فإن عدد الذرات التى تكون رابطة تساهمية يكون (8 – N)، حيث N هو عدد الإلكترونات فى المدار الأخير. وكمثال لتكون الروابط التساهمية نعتبر تكون بلورة السيليكون النقي.

تتكون هذه البلورة من ذرات سيليكون المرتبة بشكل منتظم ومتكرر والتي ترتبط بعضها مع بعض. ولتوضيح هذا الارتباط، نعلم أن ذرة السيليكون ($_{14}Si^{28}$) لها التركيب الإلكتروني $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$ ويمثل $3s^2\ 3p^2$ المدار الخارجي، وبالتالي يحتوي على أربعة إلكترونات. وتتكون الرابطة التساهمية بواسطة التغير فى مستوات الطاقة لإلكترونات التكافؤ لذرة السيليكون، كما يتضح من الشكل 1-12، حيث تكون حالة المدار 3s مشغولة تماما بعدد إلكترونين اثنين لهما عزم مغناطيسي متعاكس، ويكون فى المدار 3p إلكترونين اثنين مع أربعة فجوات. عندما تقترب الذرتان من بعضهما تنشأ بينهما رابطة تساهمية، وذلك نتيجة تكون ترابط هجيني من النوع sp^3 يجعل الذرتين فى وضع أقل طاقة، ويشغل الإلكترونات الأربعة هذه الحالات الجديدة. أما الفجوات فتكون ما يسمى بحالات ضد-الترابط (anti-bonding). عند إعطاء الإلكترونات كمية كافية من الطاقة فإنها تشغل حالات ضد الترابط وتصبح أنذاك طليقة من حالات الترابط وتستطيع أن تساهم فى الموصيلية الكهربائية، وهذه الخاصية مهمة جدا عند دراسة الموصيلية الكهربائية كما سيتضح في الأبواب القادمة.



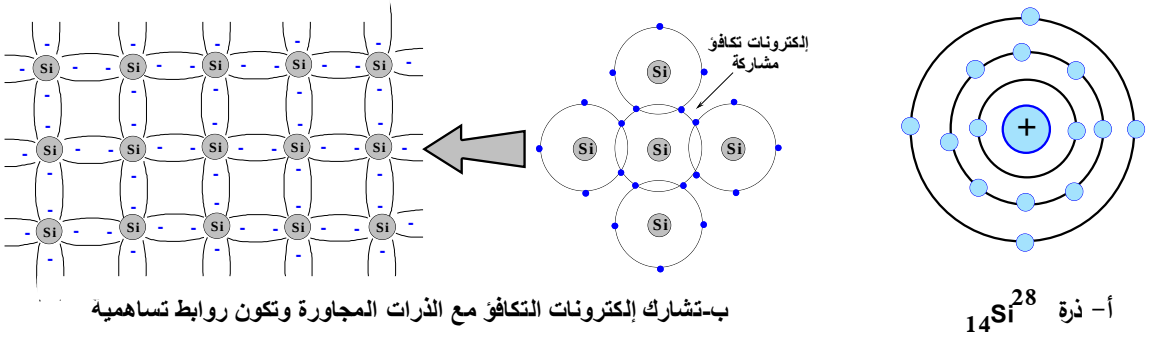
شكل 1-12: التغير فى مستويات الطاقة لإلكترونات التكافؤ في السليكون.

ويمكن استخدام لنظرية الثمانيات لمعرفة عدد الذرات اللآزمة لعمل روابط تساهمية مع ذرة السيليكون. وطبقا لهذه النظرية فإن عدد الذرات اللازمة لعمل روابط تساهمية مع ذرة السيليكون هو اربعة (4 = 4 - 8)، وبذلك، تشارك كل ذرة سيليكون أربع ذرات أخرى في الجوار كلٍ بإلكترون واحد من إلكترونات تكافؤها الأربعة، كما هو موضح بالشكل 1-13 (أ).

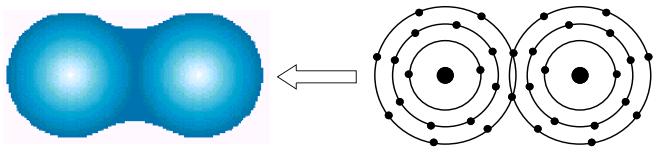
تؤدي هذه المشاركة إلى وجود 8 إلكترونات تكافؤ في المدار الخارجي لكل ذرة سليكون، مما يوجد حالة ثبات كيميائي في البلورة نتيجة تكون أربعة روابط تساهمية، وهذه الروابط تجعل ذرات السيليكون متماسكة بعضها مع بعض داخل البلورة، كما هو مبين بالشكل 1-13 (ب).

يبين الشكل 1-14 مثالاً أخيراً للرابطة التساهمية وهو تكون جزئ الكلور. يكون التركيب الذري

لذرة الكلور ($_{17}Cl^{35}$) هو ($1S^2\ 2S^2\ 2P^6\ 3S^2\ 3P^5$) ويتضح أن المدار الأخير يحتوي على 7 إلكترونات (2+5) وبذلك فإنه طبقا لنظرية الثمانيات نجد أن (1=7-8)، أي أن ذرة الكلور تحتاج إلى ذرة أخرى لتكوين رابطة تساهمية تتكون كما يتضح فيما يلي. عند ارتباط ذرتين من الكلور تساهم كل ذرة بإلكترون واحد من المدار الأخير، وبذلك يصبح المدار الأخير في كلتا الذرتين ممتلئ (أي يحتوي على 8 إلكترونات) وهكذا يتكون جزئ الكلور (Cl_2).



شكل 1-13: الروابط التساهمية في بلورة السليكون النقية.



Cl — Cl

شكل 1-14: تكون جزئ كلور، Cl_2.

يمكن تلخيص ملامح الرابطة التساهمية في النقاط الآتية:

- لا تتكون الرابطة التساهمية عن طريق انتقال إلكترونات من ذرة إلى أخرى، ولكن تتكون عن طريق تداخل أحد المدارات الخارجية لأحدى الذرتين الذي به إلكترون واحد مفرد مع أحد المدارات الخارجية في الذرة الأخرى والذي به إلكترون واحد أيضا، ويشار إلى هذه العملية بالتهجين.
- يتحدد عدد الذرات اللازمة لعمل روابط تساهمية مع ذرة طبقا لقاعدة الثمانيات.
- توصف الرابطة التساهمية بأنها نقية إذا ما كانت الذرتين المرتبطتين متماثلتين تماما، كما في حالة بلورة السليكون والعكس صحيح.
- لا تعتمد طاقة وضع النظام الذي يتكون من روابط تساهمية على المسافة بين

الذرات فقط ولكن على الزوايا المتكونة بين الروابط.

- من أمثلة الروابط التساهمية غير النقية، الروابط الجزيئية والروابط التناسقية، وهي روابط أقل قوة من الروابط النقية.
- يكون التوصيل الكهربائي للمركبات التساهمية ضعيف بشكل عام (ماعدا بعض الاستثناءات)، ويتفاوت معامل الصلابة ودرجة حرارة الانصهار للمواد تفاوتاً كبيراً نظرا لتباين التراكيب البلورية للمادة الواحدة.
- تتميز المواد الصلبة التي تتكون عن طريق الروابط التساهمية بأنها تتخذ أشكالاً بلورية مختلفة من المادة نفسها، مثل أشباه الموصلات وأكسيد الألومنيوم والسليكون، وتعتمد خصائص المادة إلى حد كبير على الشكل البلوري الذي انتهت إليه المادة بعد ارتباطها بهذه الطريقة. فعلى سبيل المثال، رغم أن التركيب الكيميائي لكل من الماس والجرافيت واحد (كل منهما عبارة عن كربون) إلا أنه يوجد تباين كبير في خصائصهما نظراً لاختلاف الشكل البلوري لكل منهما، حيث تكون الشبكة البلورية للماس ثلاثية الأبعاد، بينما يكون الجرافيت على شكل صفائح سداسية متوازية توجد بينها قوى ربط ضعيفة.

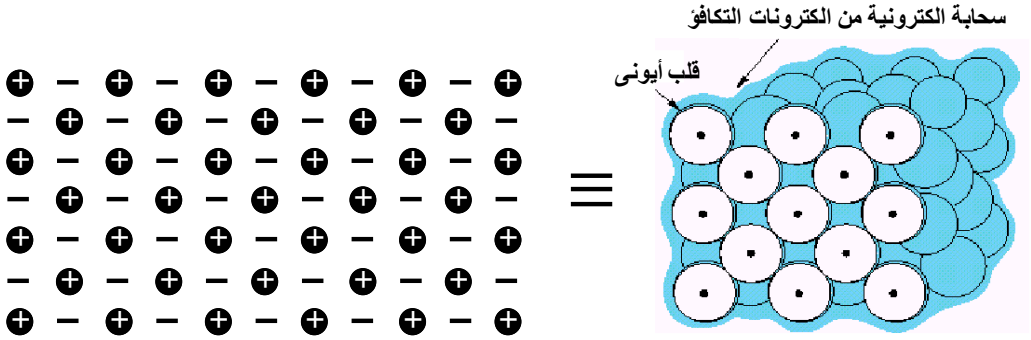
من الجدير بالذكر أنه توجد مواد تكون فيها الروابط عبارة عن خليط من الروابط الأيونية والروابط التساهمية مثل بلورات GaAs و InSb.

3-5-1 الرابطة الفلزية METALLIC BOND

عند تجمع ذرات الفلز معا في شبكة بلورية تنشأ بين الذرات رابطة من نوع جديد (تسمى الرابطة الفلزية) تجعل هذه الرابطة أيونات الفلز الموجبة تترتب على شكل شبكة بلورية، وتجعل إلكترونات مستوى الطاقة الخارجي تتجمع معا مكونة سحابة إلكترونية حرة الحركة تغمر كل تجمع أيونات الفلز الموجبة. وبذلك يمكن تخيل المعدن كما لو كان مكون من أيونات موجبة (مرتبة الشكل) تسبح في بحر من الإلكترونات السالبة. أي أن الرابطة الفلزية تنتج من السحابة المتكونة من إلكترونات التكافؤ الحرة في الفلز وأيونات الفلز الموجبة وتؤدي هذه الرابطة إلى تقليل قوى التنافر بين الأيونات الموجبة في الشبيكة البلورية. وهكذا، في الشبيكة البلورية للفلز، تنشأ الرابطة من التأثير المتبادل بين الأيونات الموجبة وبين الغاز الإلكتروني (السحابة الإلكترونية)، كما يبين الشكل 1-15. تعزى جودة كل من التوصيل الكهربائي والتوصيل الحراري في الفلزات إلى السحابة الإلكترونية المتكونة من إلكترونات التكافؤ الحرة. تعتمد قوة الرابطة الفلزية على عدد إلكترونات التكافؤ في ذرة الفلز، حيث تزداد قوة الربط كلما زاد عدد إلكترونات

التكافؤ في ذرة الفلز، وبالتالي تصبح البلورة أكثر صلابة وأعلى في درجة الانصهار، وفى التوصيل الكهربائي والحراري. فعلى سبيل المثال، فلز الصوديوم أحادي التكافؤ يكون ليناً ودرجة انصهاره تكون 98 °C، ويكون فلز الماغنسيوم ثنائي التكافؤ طرياً ودرجة انصهاره 650 °C، فى حين يكون الألومنيوم ثلاثي التكافؤ صلباً ودرجة انصهاره 660 °C، ومما سبق نلاحظ تدرج الخصائص مع زيادة تكافؤ الفلز.

يبين الجدول 1-3 أن نوع الرابطة التي تتكون بين مدارين في ذرتين يتحدد بما تمليه كمية تداخل المدارين بالنسبة إلى المسافة الفاصلة بين الذرتين a وبالتالي نوع التركيب البنائي(التعبئة).



شكل 1-15: مخطط مبسط للروابط في البلورات الفلزية.

جدول 1-3: اعتماد أنواع الروابط المتكونة بين الذرات على المسافة الفاصلة a.

نوع الرابطة	مقدار التداخل بين المدارات	نوع تعبئة الشبيكة	نوع المكونات
أيونية	صغير جدا (أصغر من a)	تعبئة متراصة مشجعة	مختلفة
تساهمية	صغير (~ a)	يتحدد بواسطة تركيب المدارات	متشابهة

فلزية	كبير جدا (أكبر بكثير من a)	تعبئة متراصة	مدارات التكافؤ غير الممتلئة

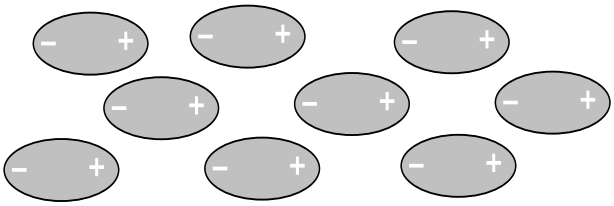
يمكن تلخيص بعض ملامح الرابطة الفلزية في النقاط الآتية:

- يمكن تصور نموذج بسيط للرابطة الفلزية هو اعتبار أن أيونات الفلز تسبح فى بحر من الإلكترونات.
- طبقا لنظرية الأنطقة، يولد التفاعل بين عدد لانهائي من مستويات الطاقة الذرية عدداً لانهائياً من أنطقة الطاقة الجزيئية (نصفها مترابط والنصف الآخر متنافر)، ومن ثم، يغيب مفهوم الطبيعة المقننة لمستويات الطاقة الذرية في بلورة الفلز.
- يمكن تصور بلورة الفلز كما لو كانت جزيئا كبيرًا لا تتبع الإلكترونات فيه ذرة بعينها.
- تتميز الفلزات بخاصية الانعكاسية الجيدة، وذلك نظرا لحالات الطاقة المتصلة، وبالتالي فإن جميع الفوتونات تمتص بواسطة المادة وبسرعة يعاد انبعاثها.
- عند تطبيق فرق جهد على الفلز فإن الفجوات (الأيونات الموجبة) تتحرك نحو المهبط، بينما تتحرك الإلكترونات الفردية نحو المصعد. ونظرا لوجود فجوات عديدة في نطاق التوصيل جاهزة للاتحاد مع الإلكترونات الفردية فإن حركة الشحنات تكون سريعة.

4-5-1 الرابطة الجزيئية MOLECULAR BOND

تتكون هذه الرابطة في كثير من المواد التي لا تحتوي على أي من الروابط السابقة، كما هو الحال في الغازات الخاملة. في هذه الغازات نجد أن المدار الأخير يكون ممتلئاً ويكون التجاذب بينها ضئيلاً جدا في درجات الحرارة والضغط العادي. لا يمكن تكثيف هذه الغازات إلا عند درجات حرارة منخفضة. وقد أعزى بعض العلماء ذلك إلى وجود قوى ضعيفة جداً بين الذرات أو الجزيئات، وتسمى قوى فان درفال. فقد افترض العالم فان درفال أن الذرات أو الجزيئات تكون ما يسمى بثنائي القطب الكهربائي. تنشأ قوى جاذبة بين الذرات نتيجة التجاذب الكهروستاتيكي بين نواة ذرة ما وإلكترونات ذرة أخرى، كما توجد قوى تنافر بين نواة ذرة ما ونواة الذرة الأخرى، كما يوضح الشكل 1-16. تكون محصلة هذه القوى السابقة قوى جاذبة ضعيفة ولكنها فعالة على المدى القصير بين الذرات وتؤدى إلى ترابط ضعيف وتكوين ثنائي القطب، ولذلك تكون الرابطة طويلة. من أمثلة المواد التي تتضمن هذه الروابط: الجرافيت وبلورات

الغازات الخاملة، كما توجد هذه الروابط بين أسطح طبقات مادة المايكا. تتميز المركبات التي تتضمن هذه الروابط بمعامل تمدد كبير.



شكل 1-16: رسم مبسط للرابطة الجزيئية.

يمكن سرد بعض ملامح الرابطة الجزيئية في النقاط الآتية:

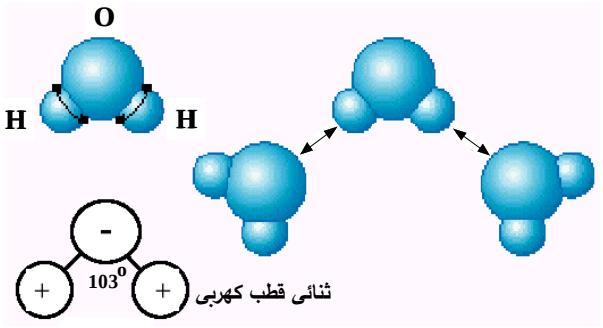
- يكون التوصيل الكهربائي في المركبات الجزيئية فقير جداً ويمكن اعتبارها مواد عازلة (ما عدا بعض الاستثناءات).
- يكون معامل الصلابة للمركبات الجزيئية صغير ومعظمها لين، كما يكون لمعان هذه المركبات باهتاً وغير واضحاً.
- تتفاوت كثافة المركبات الجزيئية ومعظمها يكون أقل من $1g/cm^3$، وتكون درجة حرارة انصهارها منخفضة وتزداد بزيادة الوزن الجزيئي (مع بعض الاستثناءات).
- تكون طاقة الربط التساهمية بين الذرات لتكوين الجزيئات قوية (100-400 kJ/mole)، وتكون القوة بين الجزيئات لتكوين الحالة الصلبة ضعيفة (5-20 kJ/mole).

1-5-5 الرابطة الهيدروجينية HYDROGEN BOND

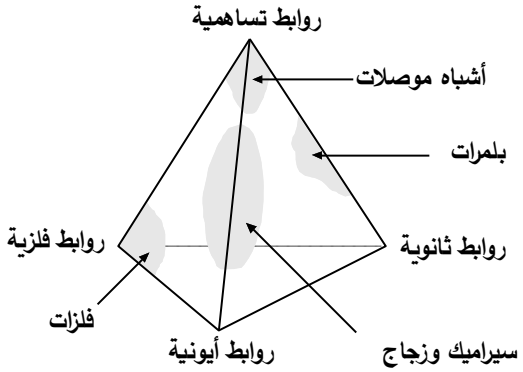
تنشأ هذه الرابطة عند اتحاد ذرتين مختلفتين في السالبية الكهربائية وتكوين رابطة تساهمية. والمثال الجيد لهذه الرابطة هو عندما تتحد ذرات الهيدروجين مع ذرات الأكسجين لتكوين جزئ الماء. نظراً للاختلاف الكبير في السالبية الكهربائية، وفي الحجم بين ذرتي الهيدروجين والأكسجين المتصلين برابطة تساهمية فإن الإلكترونات المساهمة في الرابطة تقضى وقتا أكبر نسبيا حول نواة الذرة الأكثر سالبية كهربائية (الأكسجين في هذه الحالة)، الأمر الذي معه تظهر على هذه الذرة شحنة سالبة جزئيا وتظهر على الذرة الأخرى شحنة موجبة جزئيا (الهيدروجين). نتيجة ظهور هذه الشحنات ينشأ تجاذب بين ذرات الأكسجين وذرات الهيدروجين وتتكون الرابطة. في هذه الرابطة تقوم ذرات الهيدروجين بعمل قنطرة مع ذرة الأكسجين، ولذلك تسمى هذه الرابطة، بالرابطة الهيدروجينية. ويمكن القول أن الرابطة الهيدروجينية

هي رابطة ثانوية تتكون بين ثنائيات القطب الكهربائي لجزيئات الماء المتجاورة. يوضح الشكل 1-17 مخطط لهذه الرابطة الهيدروجينية في جزيئات الماء.

يلخص الشكل 1-18 مخطط الطور لأنواع الروابط المختلفة في المواد الصلبة، كما يتضمن الجدول 1-4 بعض الخصائص الفيزيائية مثل طاقة الربط ودرجة حرارة الانصهار لبعض المركبات المختلفة.



شكل 1-17: الرابطة الهيدروجينية في جزيئات الماء.



شكل 1-18: مخطط الطور لأنوع الروابط المختلفة في المواد الصلبة.

جدول 1-4: بعض الخصائص الفيزيائية مثل طاقة الربط ودرجة حرارة الانصهار للمركبات.

		طاقة الربط		درجة الانصهار
نوع الربط	المركب	KJ/mol	eV/atom	(^oC)
أيونية	NaCl	640	3.3	801
	MgO	1000	5.2	2800
تساهمية	Si	450	4.7	1410
	C (الماس)	713	7.4	>3550
	Hg	68	0.7	-39
فلزية	Al	324	3.4	660
	Fe	406	4.2	1538
	W	849	8.8	3410
فان در فال	Ar	7.7	0.08	-189
	Cl_2	31	0.32	-101
	NH_3	35	0.36	-78
هيدروجينية	H_2O	51	0.52	0

نظرية المناطق (الشرائط) في الجوامد

Band Theory of Solids

مقدمـــة:

فيما سبق تعرضنا وبشرح تفصيلي لنظرية الغاز الإلكتروني الحر في الموصلات (المعادن metals) والتي اعتبرت فيها إلكترونات التوصيل مثل الجسيمات الحرة لغاز ثم تابعنا تطور هذه النظرية من استخدامها للميكانيكا الكلاسيكية إلى استخدام ميكانيكا الكم والإحصاء الكمي لفيرمى- ديراك . وبرغم نجاح هذا النموذج في تفسير العديد من الخصائص الفيزيائية مثل السعة الحرارية ، التوصيل الحراري ، التوصيل الكهربي ، قابلية التمغنط والديناميكا الكهربية للغازات . إلا أن هذا النموذج فشل في التمييز بين الموصلات وأشباه الموصلات والعازلات ، كما فشل في تفسير ظهور قيم موجبة لمعامل هال والعلاقة بين إلكترونات التوصيل في فلز وإلكترونات التكافؤ لذراته الحرة ... إلى آخره . وبدت الحاجة ملحة إلى نظرية جديدة أو نموذج جديد .. فكانت نظرية المناطق في الجوامد Band Theory والتي توفر قاعدة أساسية لتصنيف الجوامد إلى موصلات وأشباه موصلات وعازلات. وسوف نستعرض هذه النظرية بالتفصيل من منظور وصفي ثم بالمعالجة الرياضية الكمية.

ا- نظرية المناطق في الجوامد من منظور وصفي:

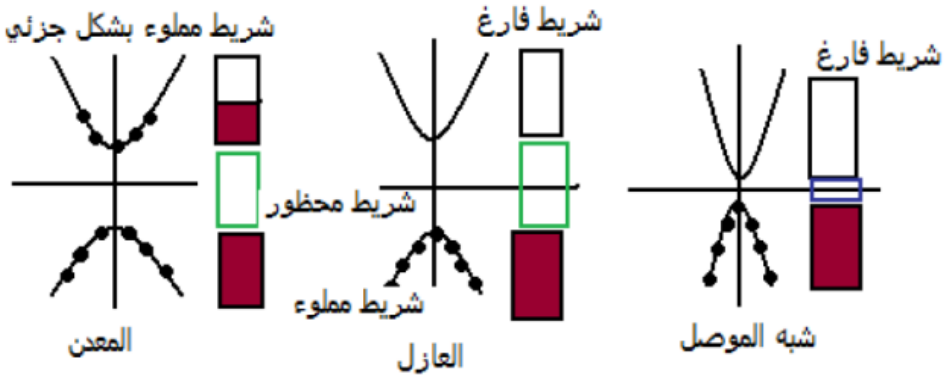
يمكن النظر للجامد على انه تجمع من ذرات منفردة معزولة، و لكل ذرة منفردة منها عدد كبير من مناسيب الطاقة المحددة والتي يمكن أن تشغلها إلكترونات الذرة. هذه الإلكترونات توجد عادة في المنسوب الأرضي أي أنها تشغل فقط أدنى مناسيب طاقة متاحة. ومن الطبيعي أن يكون من الممكن إثارة الذرات لتنتقل إلكتروناتها خاصةً إلكترونات التكافؤ، إلى مناسيب طاقة أعلى، فإلكترونات التكافؤ هي اكثر الإلكترونات قابلية للإثارة.

فإذا ما تجاوزت هذه الذرات لتكوين جزيئات أو جسم جامد فانه وبفعل التأثير المتبادل بين هذه الذرات عند تجاوزها سيؤدي إلى انسلاخ (انشقاق splitting) منسوب الطاقة إلى عدة مناسيب متجاورة. ونظراً لوجود عدد هائل من مناسيب الطاقة في الجامد حوالي 10^{23} atom / cm^3 فان منسوب الطاقة الواحد في الذرة المنفردة سينشق إلى عدد هائل من المناسيب المتقاربة جداً والنتيجة النهائية لهذا التأثير المتبادل بين المجموعة الهائلة من الذرات المتجاورة تظهر على هيئة مناطق من مناسيب الطاقة المتقاربة جداً (شرائط طاقة) أو مناطق طاقة تفصل كل منطقة منها عن الأخرى فراغات لا يمكن لمناسيب الطاقة أن تتواجد فيها .

ولمناطق الطاقة المسموحة اتساع (عرض width) كما وإن للمناطق غير المسموحة اتساع أيضاً ويعرف اتساع المناطق غير المسموحة لمناسيب الطاقة forbidden bands باسم فجوة الطاقة Energy gap (E_g)

والكيفية التي يمكن للإلكترونات أن تشغل بها المناطق المسموحة محكومة بمبدأ باولي للاستبعاد، حيث أن كل منطقة ستمتلئ بالإلكترونات بنفس الكيفية التي تمتلئ بها مناسيب الطاقة في الذرات عديدة الإلكترونات ، فعلى سبيل المثال فلز الصوديوم Na (التوزيع الإلكتروني لذراته $1S^2 2S^2 2P^6 3S^1$) تمتلئ مناسيب الطاقة في ذراته وحتى المستوى 3S والذي به إلكترون واحد والذي يمكن شغله بإلكترونين فان هذا المنسوب يقال عنه انه ممتلئ جزئياً (أو نصف ممتلئ). وعلى نفس هذه الوثيرة يمكن أن تكون المناطق المسموحة في الجوامد ممتلئة تماماً بالإلكترونات أو ممتلئة جزئياً أو خالية تماماً من الإلكترونات.

أعلى منطقة تشغلها الإلكترونات تسمى منطقة التكافؤ Valence Band (V.B) وتسمى المنطقة المسموحة الخالية التالية لها منطقة التوصيل Conduction Band (C.B.) وإذا لم تكن منطقة التكافؤ ممتلئة تماماً بالإلكترونات سميت منطقة توصيل.



تصنيف الجوامد وفقا لشرائط الطاقة

والموصل الجيد Good Conductors جامد تكون فيه منطقة التوصيل نصف ممتلئة تقريباً أو منطقة التوصيل فيها متداخلة مع المنطقة العليا التالية بدون فجوة طاقة وفي هذه الحالة يكون من السهل على أي من إلكتروناتها أن يثار ويرتفع إلى المنسوب الأعلى من الطاقة ويمكن لهذا الإلكترون اكتساب طاقة تحت تأثير مجال كهربي وبالتالي يسهم في عملية التوصيل الكهربي.

وطبقاً لنموذج مناطق الطاقة في الجوامد، فإن الجوامد من المواد العازلة Insulators هي التي تكون فيها منطقة التكافؤ V.B. ممتلئة تماماً بالإلكترونات ومنطقة التوصيل خالية تماماً منها كما وأنّ الفراغ الطاقي (فجوة الطاقة Energy gap) بينهما كبيرةً نسبياً (Eg > 3eV). ونتيجة لذلك لا يمكن لإلكترونات

منطقة التكافؤ أن تكتسب طاقة بسهولة من المجال الكهربي وبالتالي لا يمكن لها آن تُساهِم في عملية التوصيل الكهربي.

الصنف الثالث من الجوامد وهو أشباه الموصلات وفيه تكون منطقة التكافؤ ممتلئة تماماً ومنطقة التوصيل خالية تماماً عند درجة الصفر المطلق، كما في العازلات إلا أن الفراغ الطاقي بين منطقة التكافؤ والتوصيل صغير نسبياً كما في الشكلين (4 و5)، وعند الصفر المطلق تسلك هذه المواد شبه الموصلة سلوك العازلات (حيث منطقة التكافؤ ممتلئة تماماً بالإلكترونات ومنطقة التوصيل خالية تماماً منها) أما في درجة حرارة الغرفة فيمكن أن يكون لبعض إلكترونات منطقة التكافؤ طاقة إثارة حرارية تكفيها للقفز إلى منطقة التوصيل وبالتالي المساهمة في عملية التوصيل الكهربي هذا فضلاً عن أن إثارة إلكترون وانتقاله من منطقة التكافؤ إلى منطقة التوصيل يخلف وراءه فجوة(ثغرة) موجبة holes هي حاملات الشحنة الموجبة في منطقة التكافؤ تسمح بانتقال بعض الإلكترونات إليها من منطقة التكافؤ ذاتها خلال عملية التوصيل الكهربي، وإثارة الإلكترونات لتملأ الثغرات الموجبة holes تعرف بالتوصيل الكهربي بحاملات الشحنة الموجبة.

ومن الجدير بالذكر أن منسوب الطاقة المميز والفاصل بين المناسيب الممتلئة والأخرى الفارغة عند درجة الصفر المطلق والمعروف باسم منسوب طاقة فيرمي وطاقته E_F سوف تقع في منطقة التوصيل .C.B في حالة الفلزات كما في الشكل(4) أما في أشباه الموصلات فسوف يقع في منتصف الفراغ الطاقي ومثله في العازلات.

ففي أشباه الموصلات من الجوامد حيث الفراغ الطاقي صغير نسبياً وكمثال في حالة الجرمانيوم Ge تكون فجوة الطاقة $E_g = 1$ eV وفي السليكون Si تكون فجوة الطاقة $E_g = 1.1$ eV وارسينيد الجاليوم GaAs ففجوة الطاقة له $E_g = 1.43$ eV أما من أمثلة المواد العازلة حيث الفراغ الطاقي كبير نسبيا نجد نيتريد البورون BN بفجوة طاقة $E_g = 4.6$ eV أما في أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 ومثله الماس Diamond ففجوة الطاقة حوالي (7 eV) . وفي جميعها يقع منسوب فيرمي بين منطقة التكافؤ ومنطقة التوصيل كما في الشكل (4).

مقارنة بين المواد الموصلة والعازلة وأشباه الموصلات

وجه المقارنة	المواد الموصلة	المواد العازلة	المواداشباه الموصلات
أمثلة	الفلزات (الفضة - النحاس - الحديد - الرصاص - -)	الزجاج - الخزف - الكوارتز - البورسلين - الابونيت - الكهرمان	لجرمانيوم - السيلكون - كبريتيد الرصاص - كبريتيد الكادميوم
المقاومة النوعية	من 10^{-5} الى 10^{-8} اوم متر	كبيرة جدا فى درجة حرارة الغرفة فى المدى من (10^{6}الى10^{16}) اوم متر	متوسطة عند درجة الحرارة العادية فى المدى من 0.00005-500000 اوم متر
نطاق التكافؤ	مملوء بالالكترونات	مملوء بالالكترونات	مملوء بالالكترونات
نطاق التوصيل	مملوء جزئيا بالالكترونات عند درجات الحرارة الاعتيادية	خالى من الالكترونات الحرة عند درجات الحرارة العادية	خالى من الالكترونات تماما فى درجة الصفر المطلق
طاقة الفجوة	صغيرة جدا (0.01 eV)	كبيرة جدا 5 eV	من (2eV الى 0.7)
تأثير رفع درجة الحرارة على المقاومة	تزداد المقاومة	تنخفض المقاومة ولكنها تظل كبيرة لدرجة ان المادة الصلبة تنصهر قبل ان تصبح موصلة	تنخفض المقاومة بشكل كبير

المواد الموصلة :

وهي المواد التي يمكن لإلكترونات المدار الخارجي فيها أن تتحرر من ذرّاتها وتتحرك حركة عشوائية بين الذرات، وإذا تعرضت لفرق جهد (أي الالكترونات) يتشكل تيار كهربائي.

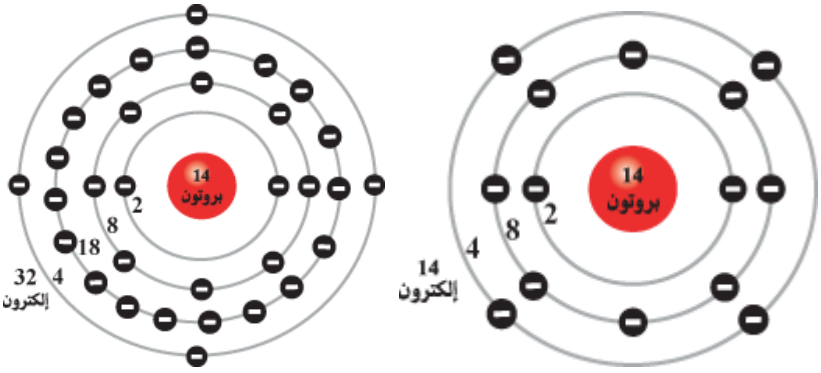
المواد العازلة : وهي المواد التي تشتد فيها قوة جذب النواة لإلكترونات المدار الخارجي فلا تستطيع الخروج من الذرة .

ومن أمثلة المواد العازلة للكهرباء : الورق ،الزجاج ،الميكا ، البلاستيك ، المطاط وغيرها .

المواد شبه الموصلة : هي مواد غير موصله للتيار أو ضعيفةالتوصيل في الظروف العادية.
ويعتمدتوصيل المادة الجامدة للكهرباء على الكثافة الحجميةللإلكترونات.

وتتميز أشباه الموصلات بأن خفض درجة حرارتها يؤدي إلى جعلها غير موصلة للتيار وذلك لأن الإلكترونات تصبح أكثر ترابطا بالنواة. من أمثلة المواد الموصلة كهربائياً : الفضة ، النحاس، الألمنيوم وعموم المعادن .

تعتبر أشباه الموصلات النقية (مثل الجرمانيوم والسليكون) مواد ليست جيدة التوصيل للكهرباء كما أنها ليست رديئة التوصيل للكهرباء. وتتوزع الإلكترونات في أشباه الموصلات حول أنويتها في مدارات ولكن تتميز أشباه الموصلات النقية بوجود 4 إلكترونات تكافؤ ،(الكترونات التكافؤ هي الكترونات المدار الخارجي للذرة وتساهم في التفاعلات الكيميائية) فقط في المدار الخارجي مما يجعلها مستقرة . أي أنها لا تنقل الكهرباء إلا بعد أن يتم تحرير إلكترون من الأربعة عن طريق الحرارة أو عن طريق إضافة شوائب . كما أنها تتحول لعوازل عندما نجبرها على إستقبال إلكترونات أخرى في مدارها الأخير (بإضافة شوائب أيضا). الاختلاف بينهما هو أن ذرة السليكون تحتوي على 14 بروتون في النواة بينما ذرة الجرمانيوم تحتوي على 32 بروتون، ويوضح الشكل التركيب الذري لمادة السليكون و التركيب الذري لمادة الجرمانيوم .



البناء الذري للسليكون البناء الذري للجرمانيوم

أنواع أشباه الموصلات (أشباه الفلزات)

التركيب البنائي لبلورة شبة الموصل النقي :-

نظـــــرا لأن شـــــبة الموصـــــل النقـــــي (الســـــيلكون Si أو الجرمـــــانيوم Ge) تحتوى في مستوى الطاقة الأخير على أربع الكترونات لذلك فإن بلورة شبة الموصل النقي (السليكون) تتكون من ذرات بحيث تكون كل ذرة محاطة بأربع ذرات عن طريق أربع روابط تساهمية تشارك فيها الذرة بأربع الكترونات. ونظرا لان الكترونات الروابط تكون مرتبطة بذراتها ارتباطا شديدا عند درجة الصفر المطلق.لذلك البلورة النقية لا توصل التيار الكهربائي عند هذه الدرجة لعدم وجود الكترونات حرة.

مميزات أشباه الموصلات النقية:-

1- تكون عازله تماماً عند درجة صفر كلفن لشدة ارتباط الإلكترونات بذراتها.
2- عند رفع درجة حرارتها تصبح الطاقة الحرارية كافية لكسر بعض الروابط بين الذرات فتتحرر بعض الإلكترونات تاركة مكانها فجوة (ثقب) وبذلك تصبح البلورة موصلة للكهربائية عن طريق الفجوات التي تتحرك عكس الإلكترونات.

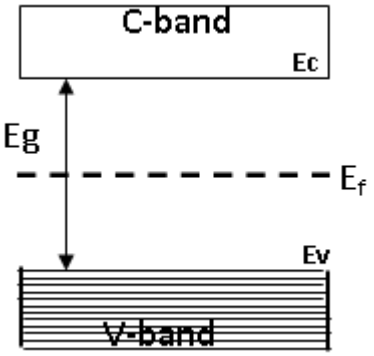
وتكمن أهمية الفجوة في أنه يمكن اعتبارها ناقلة للتيار الكهربائي مثل الإلكترون ، ولإيضاح ذلك .فإننا نتخيل ما يحدث وهو أن إلكترونا في ذرة مجاورة يمكن أن يتحرك ليملأ تلك الفجوة مخلفا وراءه فجوة أخرى ليتحرك إلكترون في ذرة مجاورة أخرى أيضا لملأ تلك الفجوة , وهكذا يمكننا أن نعتبر نظريا أن

الفجوة تتحرك بعكس اتجاه حركة الإلكترون ، وعلى ذلك يمكن اعتبار الفجوة تمثل شحنة موجبة مقدارها يساوي مقدار شحنة الإلكترون وتتحرك في اتجاه معاكس لحركة الإلكترون.

شبة الموصل الذاتي

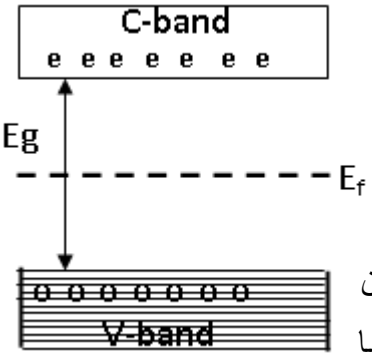
هي عناصر رباعية التكافؤ (تحتوي ذراتها علي أربع إلكترونات في المستوي الأخير) ومنها السليكون والجرمانيوم وتتحد هذه الذرات مع بعضها بروابط تساهمية مكونة بللورة رباعية عن طريق مشاركة كل ذرة بإلكترونات التكافؤ الأربعة عن درجة الصفر المطلق لا تحتوي هذه العناصر (البللورة) علي أي إلكترونات حرة الحركة ورفع درجة الحرارة يعمل علي إكساب الإلكترونات طاقة تمكنها من كسر الرابطة مخلفة ورائها فجوات موجبة وبذلك فإن عدد الإلكترونات الحرة يساوي عدد الفجوات في شبة المصل الذاتي و شكل المناطق الطاقية لهذا النوع من أشباه الموصلات يكون كما يلي.

.



حيث يمثل E_f طاقة مستوى فيرمى (و هو مستوى طاقى يتخذ كمرجع داخل شبه الموصل و احتمالية تواجد الالكترونات عند هذا المستوى في درجة الصفر المطلق تساوى نصف، و يمكن لمستوى فيرمى أن يتخذ أي موضع داخل البلورة). أما E_v, E_c يمثلان طاقة قاع منطقة التوصيل و قمة منطقة التكافؤ. من الملاحظ أن مستوى فيرمى يقع في منتصف الفجوة الطاقية في هذا النوع من أشباه الموصلات. عند إعطاء شبة الموصل هذا طاقة خارجية (حرارية مثلا) وتكون هذه الطاقة كافية للتغلب على الفجوة الطاقية Eg فان الالكترونات تتحرر من منطقة التكافؤ وتصل إلي منطقة التوصيل (تأين) وتترك ورائها فجوات وعند تطبيق مجال كهربي خارجي تتحرك الالكترونات في منطقة التوصيل وينشأ عنها تيار الكتروني كما تتحرك الفجوات في منطقة التكافؤ وينشا عنها تيار فجوى ويكون التيار الكلى هو

مجموع التيارين (الالكترونات والفجوات) و تسمى الالكترونات والفجوات حاملات الشحنة. و يكون الشكل الطاقى (بعد إعطاء شبة الموصل طاقة خارجية) كما يلي.



و من الملاحظ في هذا النوع من أشباه الموصلات أن عدد الالكترونات في منطقة التوصيل يكافئ تماما عدد الفجوات في منطقة التكافؤ.

العوامل التي تؤثر في درجة التوصيل الكهربائي لأشباه الموصلات النقية:

1- درجة الحرارة.

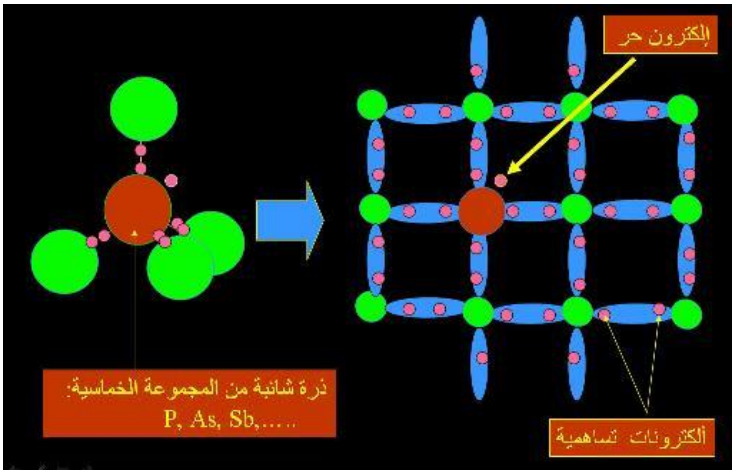
3- التطعيم.

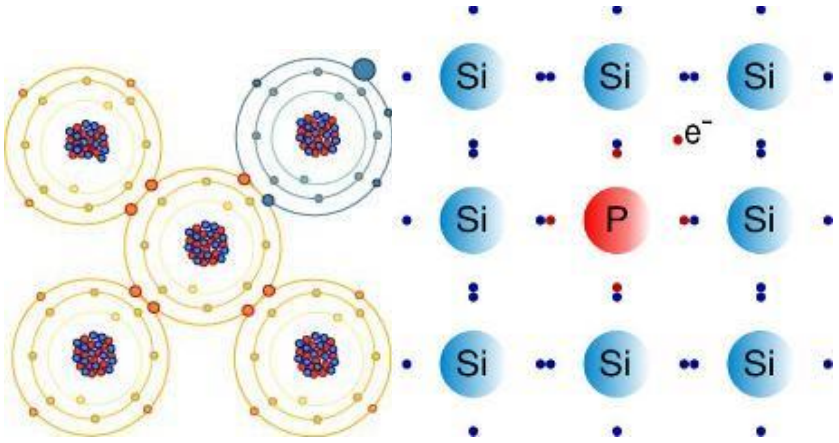
1. **الموصلات غير النقية**

وفيها يتم تطعيم البلورة (شبه الموصلة) ببعض الشوائب وهي على نوعين:-

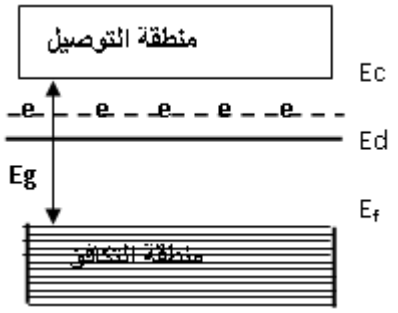
1- بلورة شبة الموصل غير النقي من النوع السالب "n-Type"

عبارة عن بلورة شبه موصل نقي جرمانيوم أو سيلكون(Ge-Si) مخلوطة ببعض ذرات شائبة خماسية التكافؤ مثل الزرنيخ (تحتوي في مستوى الطاقة الأخير على خمس الكترونات) وفي هذا النوع من البلورات تكون كل ذرة شائبة" خماسيه التكافؤ" وليكن الزرنيخ مرتبطة بأربع ذرات سليكون عن طريق أربع روابط تشارك فيهم ذرة الزرنيخ بأربع الكترونات ويتبقى الإلكترون الخامس لذرة الزرنيخ ضعيف الارتباط بها إلكترون حر. وكلما زاد عدد ذرات الشائبة يزداد عدد الالكترونات الحرة وبالتالي تزداد قدرة البلورة على توصيل التيار الكهربائي.ويسمى هذا النوع من البلورات ب(بلورة سالبة) لأن خاصية التوصيل الكهربائي بها ناتجة عن حركة الالكترونات السالبة.ويسمى هذا النوع من ذرات الشوائب بالذرات المانحة.البلورة السالبة

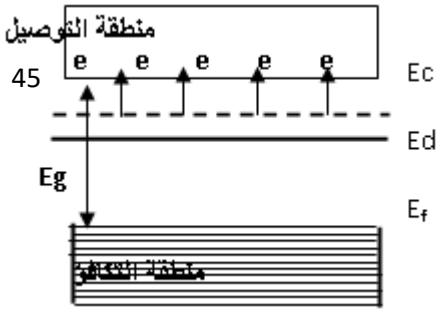




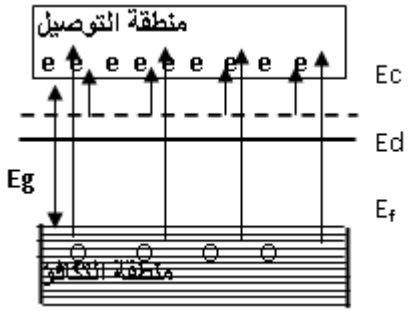
وبزيادة عدد ذرات الشائب يزداد عدد الإلكترونات الحرة التي يمكنها الانتقال من ذرة إلي أخري داخل البللورة لذلك يضاف مستوي طاقة جديد في المنطقة المحرمة أسفل منطقة التوصيل يسمى المستوى المانحdonor level وبذلك فإن الإلكترونات هي حوامل الشحنة الأساسية في هذا النوع



وبالتالي تحتاج الإلكترونات إلي طاقة صغيرة لكي تتحرك إلي منطقة التوصيل.



و عند تطبيق طاقة خارجية كبيرة، فان بعض الالكترونات الموجودة في منطقة التكافؤ تمتص هذه الطاقة و تنتقل الي منطقة التوصيل(و تترك خلفا فجوات بنفس عددها) بالإضافة الي الالكترونات التي انتقلت سابقا من المستوى المانح الي منطقة التوصيل

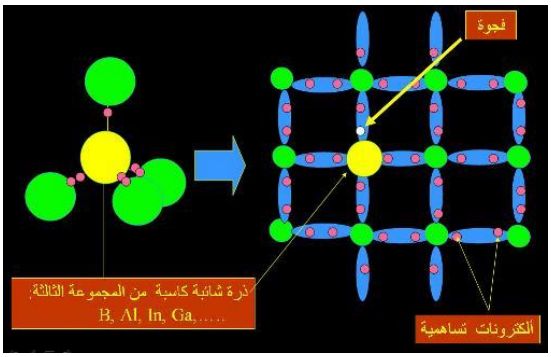


و بذلك يكون العدد الكلي للالكترونات في منطقة التوصيل أكبر من عدد الفجوات في منطقة التكافؤ. و لذلك يسمى هذا النوع من أشباه الموصلات بشبه الموصل السالب. و تسمى الالكترونات في شبه الموصل السالب بحاملات شحنة الأغلبية و تسمى الفجوات بحاملات شحنة الأقلية.

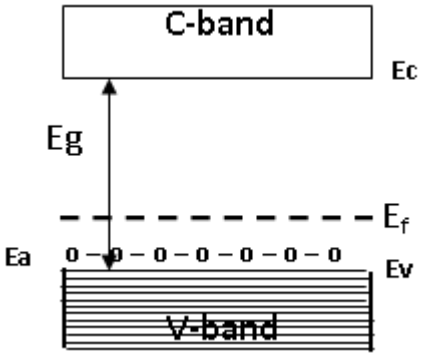
2- بلورة شبة الموصل غير النقي من النوع الموجب"P-Type"

عبارة عن بلورة شبه موصل نقي جرمانيوم أو سيلكون ("Ge- Si") مخلوطة ببعض ذرات شائبة ثلاثية التكافؤ (مثل الجاليوم والألمنيوم و الاندیوم) تحتوي في مستوى الطاقة الأخير على ثلاث الالكترونات.

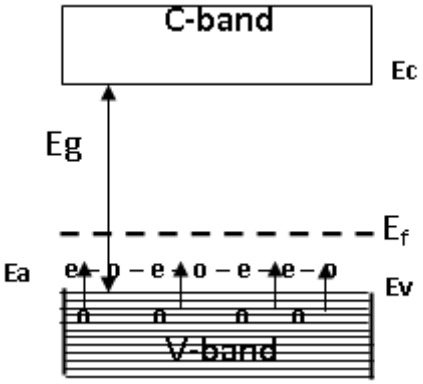
وفي هذا النوع من البلورات تكون كل ذرة شائبة" ثلاثية التكافؤ" وليكن الجاليوم مرتبطة بأربع ذرات سليكون عن طريق أربع روابط تساهمية تشارك فيهم ذرة الجاليوم بثلاث الكترونات ويتبقى في الرابطة الرابعة مكان لإلكترون غير موجود يسمى فجوة تقوم هذه الفجوة بجذب الكترون من رابطة مجاورة وعندما ينتقل الإلكترون يملأ هذه الفجوة ويترك خلفه فجوة جديدة وهكذا. ونتيجة لحركة الإلكترون بين الروابط يملأ الفجوة يتسبب ذلك في وجود الكترونات حرة مما يجعل البلورة توصل التيار الكهربائي.



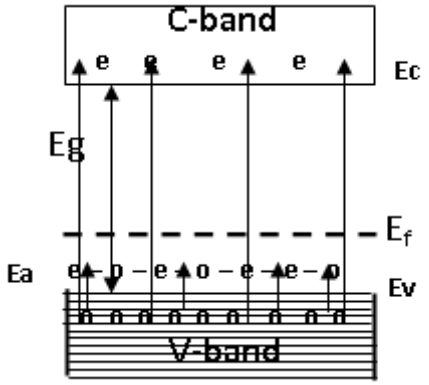
وبزيادة عدد ذرات الشائب يزداد عدد الفجوات ومن ثم تكون الفجوات هي حوامل الشحنة الأساسية في بللورة شبة الموصل الموجب وهذه الفجوات تعمل علي إضافة مستوي طاقة جديد في المنطقة المحرمة علي شريط التكافؤ يسمى المستوى الاخذ acceptor level



وعند إعطاء شبه الموصل p-type طاقه صغيره بحيث تكون كافية لخلع الإلكترون منv-band إلي Ea فانه يترك خلفه فجوة في v-band وعند تطبيق مجال كهربي خارجي تتحرك الفجوات في منطقة التكافؤ وينشأ عنها تيار فجوى (الفجوات هي المسؤلة عن التوصيل في هذه الحالة).



و عند تطبيق طاقة أعلى، بحيث تكون هذه الطاقة كافية لرفع إلكترون من منطقة التكافؤ إلي منطقة التوصيل، فان كل إلكترون يصل إلي منطقة التوصيل يترك خلفه فجوة في منطقة التكافؤ.



وعند تطبيق مجال كهربي خارجي تتحرك الالكترونات في منطقة التوصيل وتتحرك الفجوات في منطقة التكافؤ. ويكون دائما عدد الفجوات في منطقة التكافؤ الكبر من عدد الالكترونات في منطقة التوصيل. لذلك تسمى الفجوات في شبه الموصل الموجب بحاملات شحنة الأغلبية كما تسمى الالكترونات بحاملات شحنة الأقلية. و بذلك يكون تيار الفجوات أكبر بكثير من تيار الالكترونات. أي أن الفجوات هي التي تلعب الدور الأكبر في توصيل التيار الكهربي، و لذلك يسمى هذا النوع من أشباه الموصلات بشبه الموصل الموجب

- <u>مستوي فيري</u>

هو المستوي الذي يفصل بين الجزء الممتلئ والجزء الخالي عند درجة الصفر المطلق وعند أي درجة حرارة فهو المستوي الذي يفصل بين الجزء الأكثر امتلاء والجزء الأقل امتلاء

وطاقته تحدد من المعادلة

$$E_f = \frac{E_c + E_V}{2} + \frac{KT}{2} \ln \frac{N_V}{N_C} \quad \text{.....(1)}$$

حيث E_c هي الطاقة عند قاع منطقة التوصيل E_v هي الطاقة عند قمة نطاق التكافؤ T درجة الحرارة المطلقة N_c ، N_v يعتمد علي درجة الحرارة $\frac{N_V}{N_C} = (\frac{m_p}{m_n})^{3/2}$.

حيث m_n كتلة الإلكتروني m_p كتلة الفجوات

- في شبة الموصل الذاتي

فإن مستوي فيري يقع في منتصف المنطقة المحرمة بين شريط التكافؤ وشريط التوصيل عند درجة الصفر المطلق ويتغير موضوعه بتغيير درجة الحرارة إلي أعلي أو إلي أسفل حسب $m_p > m_n$ أو $m_p < m_n$ علي الترتيب

- في شبة الموصل الشائب

فإن مستوي فيري يقع بين نطاق التوصيل ومستوي الشوائب المعطية E_D عند $T = o$ وبزيادة درجة الحرارة يزاح إلي أسفل حتى يصل إلي منتصف المسافة بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل عند درجة الحرارة التي يتأين عندها جميع ذرات الشائب وحاملات الشحنة في هذه الحالة تأتي من الذرات الذاتية

- في شبة الموصل الموجب
- يقع مستوي فيري بين نطاق التكافؤ ومستوي الشوائب الآخذة Ea عند $T= o$ وبرفع درجة الحرارة يزاح إلي أعلي وعند درجة الحرارة التي تتأين عندها ذرات الشائب فإن مستوي فيرمي يصبح في منتصف المسافة بين منطقة التكافؤ ومنطقة التوصيل ((منتصف المنطقة المحرمة))

التوصيل في أشباه الموصلات في شبة الموصل وعند درجة حرارة ثابتة يرجع التوصيل إلي حركة كلا من الإلكترونات والفجوات

فإذا كان n هو تركيز الإلكترونات ، p هو تركيز الفجوات وأن μ_n هي قابلة حركة الإلكترونات ، μ_p قابلية حركة الفجوات ، e شحنة الإلكترونات فإن كثافة التيار الناشئ عن حركة الإلكترونات هو :

$J=eE\ \mu_n$

وكثافة التيار الناشئ عن حركة الفجوات هو

$J=eE\ \mu_p$

حيث E المجال الكهربي المطبق

التيار الكلي الناشئ عن حركة الفجوات والإلكترونات هو $J = e\ E\ (n\ \mu_n + P\ \mu_p)$

الموصلة تعتمد علي كثافة التيار من العلاقة

$\sigma = J / E$ or $J = \sigma\ E$

$\sigma= e\ (n\ \mu_n + P\ \mu_p)$

ولكن عند درجات الحرارة المختلفة فإن تركيز الفجوات والإلكترونات تغير درجة الحرارة

$$ni = N \exp(\frac{-Eg}{2KT})$$

$\sigma_i= n_i\ e\ (\mu_n + \mu_p)$

فى حالة شبة الموصل الذاتي $n_i = n = P$

$\sigma_i= N\ e\ (\mu_n + \mu_p)\exp(-E\ g / 2K\ T)$

حيث n_i تركيز الفجوات أو الإلكترونات

ولكن $\sigma_o= Ne\ (\mu n + \mu p)$ الموصلة في درجة حرارة الغرفة

$\therefore\ \sigma = \sigma_o\ \exp(-Eg / 2KT)$

- وحيث أن شدة التيار الماره تناسب طرديا مع الوصلية σ

$\therefore\ I = const\ \sigma$

$\therefore\ I = const\ \sigma_0\ \exp(-Eg/2KT)$

باخذ لوغارتم الطرفين

$$\therefore I = I_o \exp(-Eg/2KT)$$

$$\therefore \ln I = \ln I_o - (Eg/2k)$$

الوصلة الثنائية

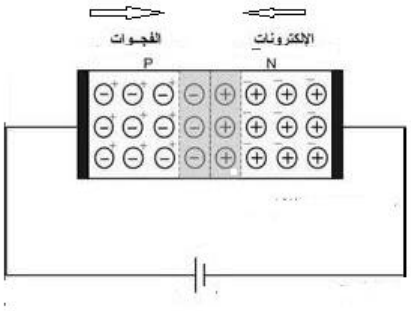
هي ناتج تلامس بلورة شبه موصل من النوع السالب "n-type" مع بلورة من شبة الموصل من النوع "p-type" ومنطقة التلامس بين نوعي البلورة تسمى بمنطقة الجهد الحاجز أو المنطقة الانتقالية أو منطقة النضوب فعند تلامس البلورتين تنتقل حاملات الشحنة الأساسية "الالكترونات من البلورة

السالبة"n"نحو نقطة التلامس وتعبرها إلى المنطقة الموجبة "p" كما تنتقل الفجوات حاملات الشحنة الأساسية من البلورة الموجبة إلى منطقة التلامس وتعبرها إلى المنطقة السالبة "n" تصبح بعض ذرات البلورة السالبة "n"موجبة الشحنة وبعض ذرات البلورة الموجبة "p" تصبح سالبة الشحنة وينشأ مجال كهربي يمنع انتقال الالكترونات من"n"إلى "p" وكذلك يمنع انتقال الفجوات وتصبح منطقة التلامس خالية من حوامل الشحنة المتحركة تماما لذلك فهي تسمى بمنطقة النضوب التيار الناشئ من هجرة الالكترونات والفجوات يسمى بتيار الانتشار و الجهد الذي يتوقف عنده انتقال الالكترونات من المنطقة السالبة إلى المنطقة الموجبة يسمى بجهد الحاجز

طرق توصيل الوصلة الثنائية

التوصيل الأمامي (Forward Bias)

عند توصيل الوصلة الثنائية توصيل أمامي بمصدر تيار مستمر "بطارية مثلا " الطرف الموجب بالجزء الموجب من الوصلة "p" ويتصل الجزء الطرف السالب للبطارية بالجزء السالب للوصلة "n"كما بالشكل(1)



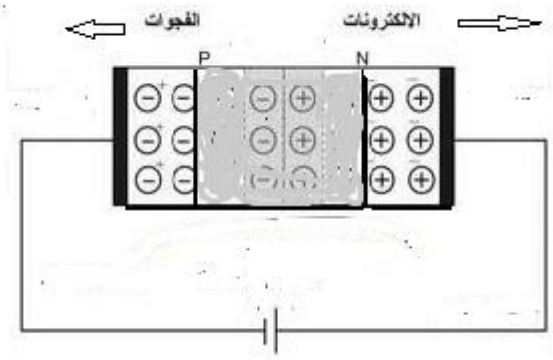
شكل (1)

وعندما يكون جهد المصدر اكبر من الجهد الحاجز للوصلة فان قوة التنافر بين الكترونات المنطقة "n" مع الجهد السالب للبطارية تعمل على دفع الالكترونات من المنطقة السالبة "n" نحو منطقة الجهد الحاجز ومن ثم إلى المنطقة "p" وفى نفس الوقت تعمل قوة التنافر بين فجوات المنطقة الموجبة "p" والجهد الموجب عند "p" على دفع الفجوات نحو الجهد الحاجز ومن ثم إلى المنطقة السالبة "n" ونتيجة حركة الالكترونات والفجوات يمر التيار الكهربي في الوصلة حيث يقوم القطب الموجب للبطارية بجذب الالكترونات التي عبرت إلى المنطقة الموجبة "p" ويقوم القطب السالب باوراد المنطقة السالبة

بالالكترونات لتعويض الالكترونات التي عبرت إلى المنطقة الموجبة وعند زيادة فرق الجهد بين الوصلة يزداد مرور التيار في الوصلة ويوضح الشكل المنحنى المميز للوصلة الثنائية في حالة التوصيل الأمامي شكل (3)

التوصيل العكسي (Reverse Bias) في هذه الحالة يتصل الموجب للوصلة "p" مع القطب السالب للبطارية "مصدر للتيار "بينما يتصل الطرف السالب "n"مع القطب الموجب للبطارية

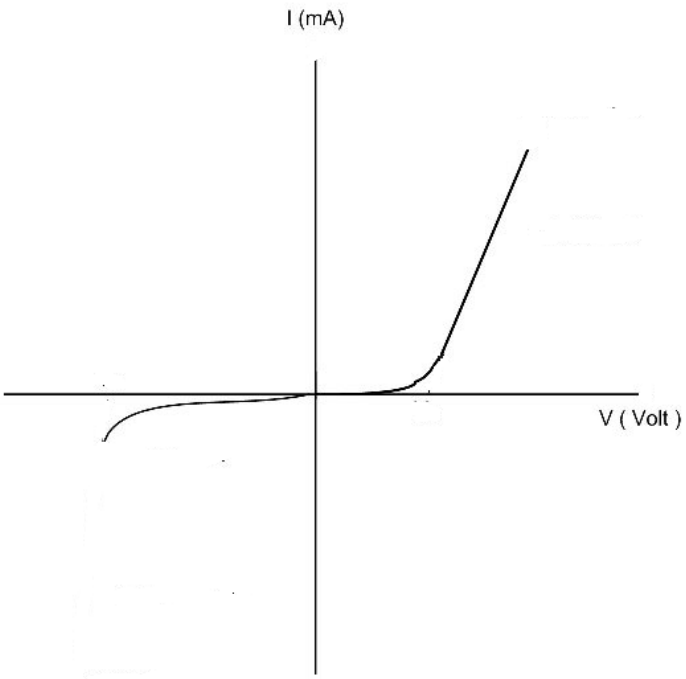
ويوضح الشكل (2)التوصيل الخلفي للوصلة



شكل (2)

وفي هذه الحالة فان الالكترونات في المنطقة السالبة تنجذب نحو القطب الموجب للبطارية وكذلك تتحرك الفجوات في المنطقة الموجبة نحو القطب السالب للبطارية وبذلك حاملة الشحنة المتحركة في منتصف الوصلة مما يعمل علي زيادة منطقة حاجز الجهد"منطقة النضوب"وذلك يمنع مرور التيار الكهربي داخل الوصلة ،ومع زياد الجهد في حالة التوصيل العكسي حتى يصل إلى قيمة معينة يمكن أن تنهار عندها الوصلة وتسمح بمرور التيار ويمكن للوصلة أن تتلف ويسم الجهد الذي تحدث عنده التوصيل العكسي"جهد الانهيار" ويسم التيار حينئذ بتيار لتسرب وتكون شدة ذلك التيار كبيرة مما يتسبب حدوث تلف دائم في البلورة "الوصلة "

المنحنى المميز للوصلة الثنائية:



المنحنى المميز فى حالة التوصيل الامامى

شكل (3)

ويلاحظ في الشكل السابق : عدم ظهور التيار في البداية رغم وجود قيمة للجهد، ذلك لان الجهد في البداية يستخدم "يستهلك"في التغلب علي حاجز الجهد للوصلة وتظهر قيمة للتيار بعدما يتخطي فرق الجهد قيمة فرق الجهد الحاجز "V_o"

التقويم الموجى باستخدام الوصلة الثنائية

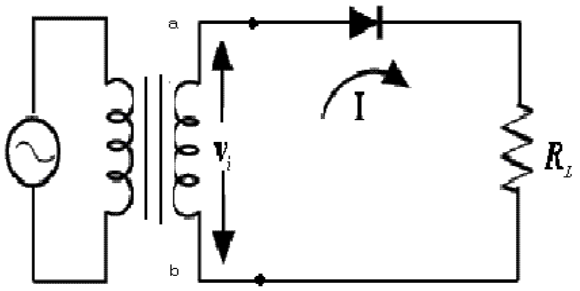
تتميز الوصلة الثنائية بأنها تسمح بمرور التيار في الاتجاه الامامي ونمنع مروره في الاتجاه العكسي ولذلك فهي تستخدم في تقويم التيار المتردد أي الحصول علي تيار مستمر من تيار متردد ويوجد نوعين من التقويم باستخدام الوصلة هما

1-التقويم النصف موجي لموجة التيار

2-التقويم الموجي الكامل لموجة التيار

اولاً التقويم النصف موجي

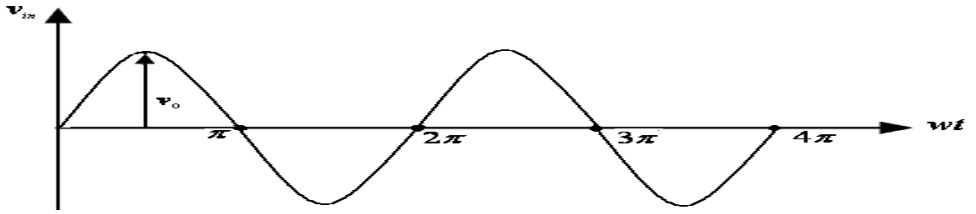
وفيه تستخدم دائرة كهربيه مكونه من مصدر تيار متردد"محول خافض للجهد يتصل طرفه الابتدائي بمصدر التيار المتردد ويوصل طرف ملفه الثانوي بالوصله الثنائيه والتي تتصل علي التوالي مع مقاومة الحمل (RL) كما هو موضح بالشكل (1)



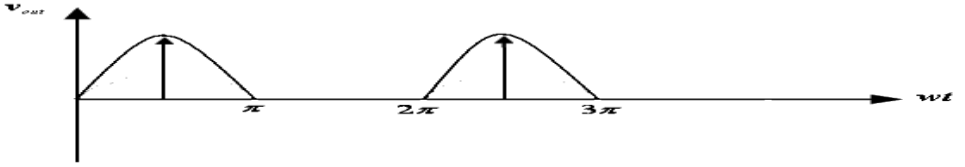
الشكل (1)

ويتم عمل الوصلة كالأتي في النصف الموجب لموجة التيار المتردد تكون النقطة (a)موجبة بينما تكون (b)سالبة وبذلك يكون التوصيل امامي للوصلة ومن ثم يمر التيار في الدائرة وفي النصف السالب لموجة التيار تكون النقطة (a)سالبه و(b)موجبه وبذلك يكون التوصيل عكسي بالنسبة للوصلة ولا يمر التيار ويكون فرق الجهد بين طرفي الوصلة مساوياً للصفر وبذلك يظهر التيار في حالة التقويم الموجي وكذلك فرق الجهد الخارج من مقاومة الحمل علي شكل متقطع

موجة التيار المتردد



تقويم نصف موجي



من مميزات دائرة التقويم النصف موجى القدرة على تمرير التيار الكهربى فى اتجاه واحد بينما من عيوب هذا النوع من المقومات انه يستخدم فقط نصف القدرة الكهربية للموجة المترددة.

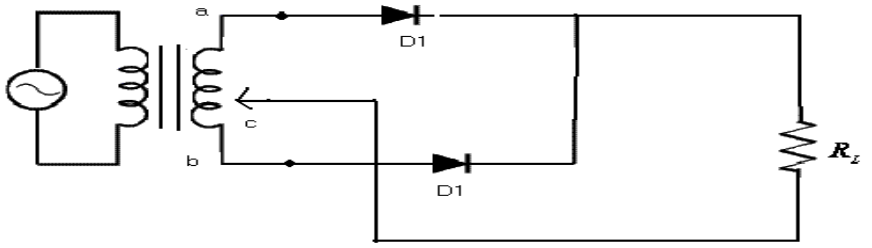
ثانيا التقويم الموجي الكامل

يمكن ان يتم باستخدام وصلتين ثنائيتين ام باستخدام قنطرة تقويم مكونه من اربع وصلات وتتميز دائرة التقويم الموجى الكامل عن دائرة التقويم النصف موجى بأنها تستطيع استغلال كامل القدرة الكهربية لموجه الدخل المترددة

1-<u>التقويم الموجي باستخدام وصلتين</u>

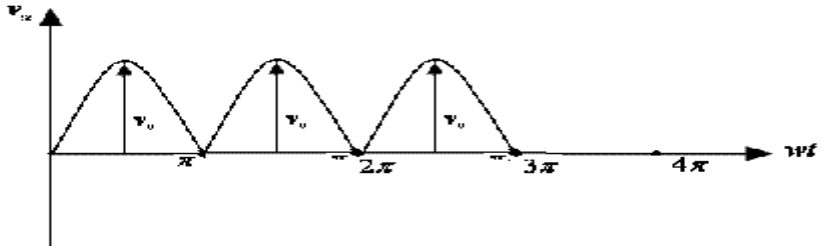
وذلك باستخدام محول له نقطة ارتكاز كما يوضح الشكل(2)

الشكل (2)



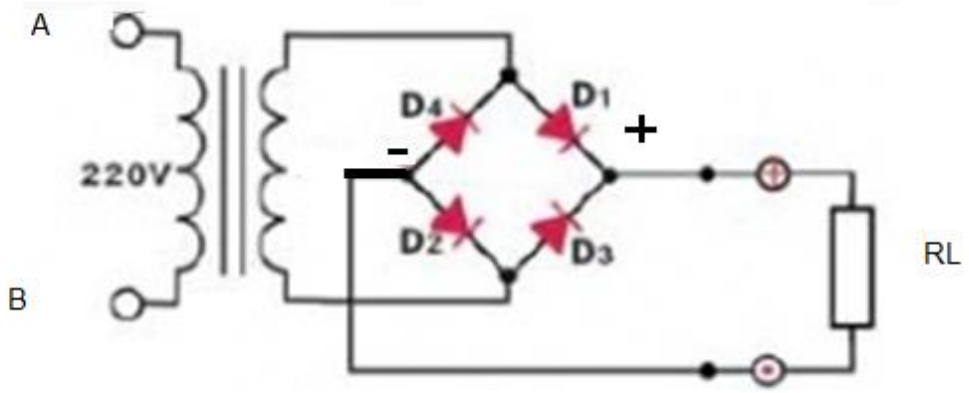
*في النصف الموجب من موجة التيار تكون النقطة (a) موجبه بالنسبه الي c بينما تكون b سالبة وبذلك فان الوصلة الاولي D1 تمرر التيار لان التوصيل امامي بالنسبه لها ولاتمرر الوصلة الثانيه التيار لان التوصيل يكون عكسي بالنسبه لها

*في النصف الثاني من دورة التيار تكون النقطه (a) سالبه بالنسبه الي c وتكون (b) موجبة بالنسبه الي c وبذلك فان الوصلة الثانيه D2 تمرر التيار حيث يكون التوصيل امامي بالنسبه لها ولا تمرر الوصله D1 التيار وبذلك فان الجهد علي مقاومة الحمل يكون علي الشكل



(ب) تقويم موجي كامل

2-التقويم الموجي باستخدام اربع وصلات



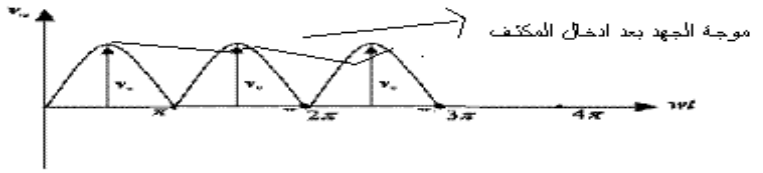
في النصف الموجب من موجة التيار تكون النقطة A موجبه بالنسبه الي B فإن هذا يحقق شرط مرور التيار فى الوصلة D1 وD4 وتكون فى حالة توصل امامى بينما تمنع الوصلة مرور التيار فى الوصلتين D3 و D2 لان هذا يعتبر وضع عكسى لهما ويظهر فرق الجهد المقوم على مقاومة الحمل

RLوعندما تنعكس دورة اجهد المغذى اى تصبح النقطة Bموجبة بالنسبة للنقطة A يحدث العكس و يظهر ايضا فرق الجهد المقوم على مقاومة الحملRL

معامل الارجحة:

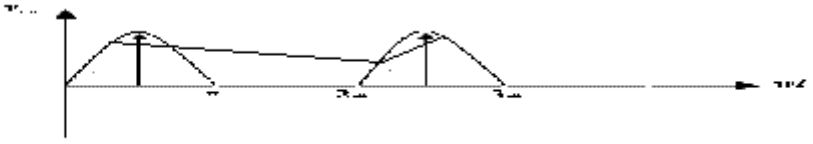
ومن الاشكال الموضحة للتيار المقوم نجد ان التيار الناتج من دائرة التقويم سواء كان التقويم موجي او نصف موجي موحد الاتجاه فقط ولكنه متغير الشدة لذلك نجد ان دوائر التقويم السابقة تحتوي علي مكثف C يتصل علي التوازي مع مقاومة الحمل R_L حيث يعمل المكثف علي تقليل الارجعه في قيمة التيار المقوم وذلك لان التيار الناتج من وحدة التقويم والمار في مقاومة الحمل يكون موحد الاتجاه ولكن قيمته تتأرجح من الصفر الي قيمة عظمي I_m ويقوم المكثف بتقليل الارجحة في التيار في التيار كالأتي "في حالة التقويم نصف الموجي" في نصف الدورة الموجبه يقوم المكثف بالشحن حيث يتم شحن المكثف علي تفريغ شحنته في المقاومه عندما يبدا التيار في النقصان وبذلك نجد ان الجهد بين طرفي المقاومه R_L لا يصل الي الصفر "عملية التنعيم" وفي حالة التقويم الموجي يبدا المكثف "يتم شحنه"عندما تزداد قيمة الجهد بين طرفي المقاومة عند القيمة المتوسطه V_o ويبدا تفريغ شحنته عندما يقل الجهد عن تلك القيمه وتأخذ موجة المقوم "التيار المقوم"الشكل التالي

(أ)



تقويم موجي كامل

(ب)



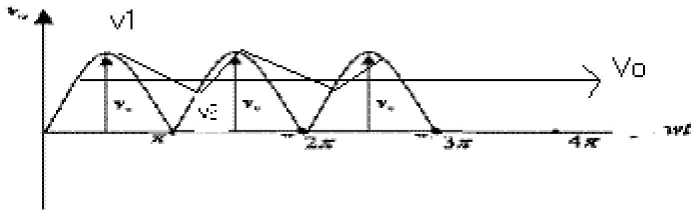
تقويم نصف موجي

*حساب معامل الارجعة:

مما سبق نجد ان قيمة التيار المقوم تتأرجح بالزيادة والنقصان حول قيمة متوسطة لها وهذه الارجحة يكون غير مرغوب فيها ويتم التغلب عليها باستخدام اجهزة تثبيت الجهد وفيما يلى طريقة لحساب الارجحة للتيار

نفرض اننا حصلنا على تقويم موجى كامل لموجة التيار كما بالشكل التالى

(ب)



في الشكل نجد ان التيار يصل الي قيمة عظمي V_1 اثناء شحن المكثف ثم يقل الي قيمة صغري V_2 اثناء تفريغ شحنة المكثف

التغير في الجهد بين هاتين القيمتين

$$\Delta V = V_1 . - V_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

وحيث ان تفريغ شحنة المكثف يعطي علي هيئة دالة اسية في الصورة

$$V_2 = V_1 . e^{-\Delta t / CR} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

حيث Δtالفترة الزمنيه التي تمضي بين V_1, V_2 وCسعة المكثف وR مقاومة الحمل

في حالة التقويم الموجي الكامل فان الفترة الذمنيةΔt بينV_1, V_2تساوي نصف الزمن الدوري لموجة التيار $\frac{T}{2}$

$$V_2 = V_1 . e^{-T / 2CR} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

وحيث ان المقدار Tاصغر بكثير من 2RC فانه يمكن كتابة المعادلة3 علي الصورة

$$V_2 = V_1.\left[1 - \frac{T}{2RC}\right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

بالتعويض من (4) فى (1) نحصل علي ان

$$\Delta V = V_1 - V_2 = V_1 - V_1.\left[1 - \frac{T}{2RC}\right] = \frac{-T}{2RC}V_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

وحيث ان T=(1/f)حيث ان fهو التردد

$$\Delta V = \frac{V_1}{2\,fRC}$$

معامل الارجعة RF- Ripple Factorهو النسبة بين جزر متوسط مربع جهد التموج ومتوسط جهد التموج V_o

$$RF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{V_{rms}}{V_O}$$

$$V_{rms} = \frac{\Delta V}{2\sqrt{3}} = \frac{V_1}{4\sqrt{3}\,fRLC}$$

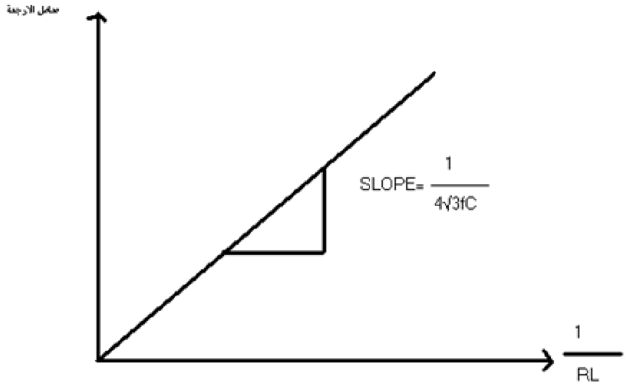
$$RF = \frac{1}{4\sqrt{3}\,fRLC}\frac{V_1}{V_o}$$

وعندما يكون V_1مساويا تقريبا لV_o يعطى معامل الارجعة بالنسبة للتقويم الموجي الكامل

$$RF = \frac{1}{4\sqrt{3}\,fRLC} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

وهي علاقة خط مستقيم علي الصورةy=mx وبرسم العلاقة بين مقلوب مقاومة الحمل علي المحور الافقى ومعامل الارجحة   ويمكن تعين سعة المكثف المستخدم فى دائرة التقويم فى جزء الترشيح

وبالمثل يعطى معامل الارجعة بالنسبة للتقويم النصف الموجي بالمعادلة



$$RF = \frac{1}{2\sqrt{3}\,fRC} \quad \text{...(7)}$$

*قيمة معامل الارجعة تقل بزيادة الثابت الزمني CRولكن يجب الاتزيد قيمته بصورة تعمل علي تراكم الشحنات علي طرفي المكثف مما يعمل علي خفض الجهد الناتج

*معامل الارجعة في حالة التقويم النصف الموجي يساوي ضعف معامل الارجعة في حالة التقويم الموجي الكامل وذلك لان زمن التفريغ Δtفي حالة التقويم النصف موجي يساوي الزمن الدوري لموجة التيار (τ)

*<u>تعريف كفاءة التقويم</u>

هي النسبة بين القدرة الناتجة الي القدرة المعطاة

η=(power out put)/(power in put)

$$\eta = \frac{I^2{}_{dc} RL}{I^2{}_{rms}(RL + r)} \quad \text{..(8)}$$

حيث r هي المقاومة الداخلية لوحدة التقويم وRLمقاومة الحمل في الدائرة

*حساب القوة الدفعية لوحدة التقويم والمقاومة الداخلية لوحدة التقويم في نوعي التقويم (النصف موجي والموجي الكامل)
بأستخدام احدي الدائرتين الموضحتين

نجد ان شدة التيار المار في مقاومة الحمل هي

$$I = \frac{V_{dc}}{RL} = \frac{E}{(RL + r)}$$

حيثRLمقاومة الحمل وrالمقاومة الداخلية لوحدة التقويم سواء نصف موجي او موجي كامل وEالقوة الدافعة لوحدة التقويم

$$\frac{RL}{V_{dc}} = \frac{(RL + r)}{E}$$

بضرب الطرفين في المقدار E/RL

$$1 + \frac{r}{RL} = \frac{E}{V_{dc}}$$

بالقسمة علي r للطرفين

$$\frac{1}{RL}+\frac{1}{r}=(\frac{E}{r})(\frac{1}{V_{dc}})$$

ومنها نجد ان

$$\frac{1}{RL}=(\frac{E}{r})(\frac{1}{V_{dc}})-\frac{1}{r}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

وهي علاقة خط مستقيم علي الصورة y=mx-c وبرسم العلاقة بين مقلوب مقاومة الحمل علي المحور الراسي ومقلوب الجهد (1/Vdc) ويمكن تعين كلا من r , E

- الانهيار فى الوصله(- وصله زينر)

فى حالة التوصيل العكسى للوصله الثنائيه قد تظهر قيمه صغيره جدا للتيار تسمى بتيار التشبع وهو ناتج من حركه حوامل الشحنه الثانويه وهذه القيمه تكون ثابته تقريبا مهما زاد فرق الجهد بين طرفى الوصله حتى يصل الى قيمه معينه يظهر عندها تيار وتكون شدته كبيره وتقل عنده مقاومة الوصله بصوره فجائيه ويسمى ذلك الجهد الذى تبدا عنده مقاومة الوصله فى الانهيار والذى يصاحبه الظهور الفجائى للتيار بجهد الانهيار, وهذا الجهديعمل على زياده شدة المجال الكهربى داخل الوصله الى الحد الذى يعمل على اخراج الالكترونات من الروابط الموجوده داخل البلورة وبذلك تتحرر الالكترونات وزياده الجهد بعد ذلك يعمل على تحريك هذة الالكترونات من نطاق التكافؤ الى نطاق التوصيل وبذلك يظهر التيار الفجائى عند قيمه الجهد الموضحه وعند هذا الجهد فان مرور التيار داخل الوصله يؤدى الى تلفها وذلك لاخلال نظام البلورة نتيجة تكسير الروابط بين الذرات.

وتوجد اربعة انواع من الانهيار وهى كالتالى :

1- انهيار زينر يحتاج هذا النهيار لكى يحدث الى مستوى اشابه عالى "زياده تركيز الشوائب" حتى تكون منطقة النضوب صغيره جدا حيث تكون هذه الوصلات من الوصلات الضيقه "narrow" مما يعمل على توليد مجال كبير وهذا المجال يحتاج الى زياده صغيرة حتى يصل الى الحد اللازم لنزع الالكترونات من الروابط وهذه الزياده يتم الحصول عليها برفع الجهد العكسى على الوصله

الى قيمه صغيره تصل الى "60" فولت تقريبا ولذلك فان انهيارزينر يحدث عند جهود منخفضه ,والوصلات التى تحدث عندها "داخلها" ذلك النوع من الانهيار تسمى بوصلات زينر ويلاحظ ان ذلك النوع من الانهيار ليس من النوع المدمر الذى يسبب تلف البلورة ولذلك فان وصلة زينر لا تتلف بعد حدوث الانهيار مثل باقى الوصلات التى لا تصلح للاستخدام بعد الانهيار وهى تمرر التيار فى الاتجاهين الامامى والعكسى. وفى وصلة زينر المثاليه فان الجهد الناتج يبقى ثابت رغم الزياده الهائله ف التيار وذلك لان زياده التيار يقابلها نقص ف مقاومه الوصله"V=IR" ولذلك فان وصلة زينر تستخدم كمثبت للجهد وتفقد قدرتها على التقويم وذلك لانها تمر التيار فى حالتى التوصيل الامامى والعكسى (انظر المنحنى المميز لوصلة زينر شكل (2)) لاحظ ان الجهد الخارج هو الذى يبقى ثابت وليس الجهد الذى يتم ادخاله على الوصله "والذى يتم قياسه بالفولتميتر" توضيح لانواع التهيارات الاخرى:-

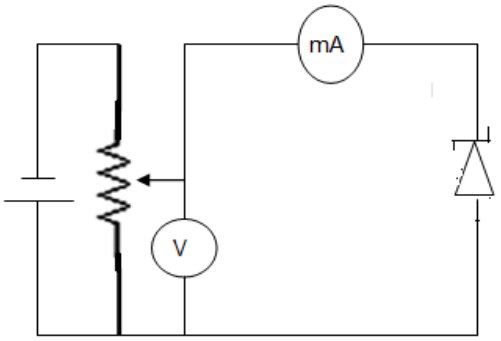
2- <u>الانهيار الانهمارى</u>:- و يحدث هذا الانهيارعندما يكون المجال الكهربى قادر على تعجيل حوامل الشحنه المتحركه لدرجة ان تصادمها مع ذرات الشبكه البلوريه يعمل على اخراج الكترونات من هذة الذرات " تأين ذرات الشبكه"ومن ثم يعمل المجال على تعجيل كلا من حوامل الشحنه والالكتونات الثانويه التى تم اخراجها وتتصادم هذه الالكترونات مرة اخرى مع ذرات الشبكه مؤديه الى اخراج عدد من الالكترونات وبتكرار تلك العمليه يتم فى كل مرة مضاعفة عدد الالكترونات المتحررة من الذرات وبذلك تتأين جميع ذرات الشبكه وتظهر القيمه الفجائيه للتيار"تيار الانهيار" وهذا الانهيار يحدث عند جهد اقل من جهد زينر

3- <u>الانهيار الحرارى</u>:- وينتج هذا الانهيار عن زياده درجه حرارة الوصله والتى تعمل على زياده التيار العكسى فى الوصله وزياده التيار "حركه الالكترونات" يعمل على زياده درجه الحرارة الوصله وعندما تكون الوصله غير قادرة على تبادل درجه الحرارة مع الوسط المحيط يعمل تراكم الحرارة على الوصله الى زياده التيار الانعكاسى مرة اخرى وهذا بدوره يؤدى الى تكرار عملية رفع درجه حرارة الوصله الى حد انهيار الوصله

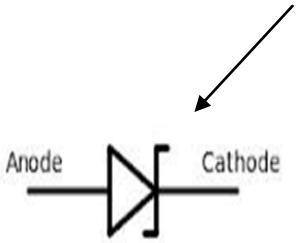
4- <u>الانهيار السطحى:-</u> و ينشأ هذا الانهيار عن تسرب الشحنات الى سطح الوصله والتى تعمل على تشويه شده المجال داخل الوصله "المؤثر عليها" وتستخدم اغطية واقيه للوصله ذات ثوابت عزل عاليه الجوده لحماية الوصله من حدوث الانهيار السطحى

<u>. الدائرة المستخدمه لدراسه المنحنى المميز لوصلة زينر شكل (1):-</u>

شكل (1)



الرمز الاصطلاحى لوصلة زينر



المنحنى المميز لوصلة زينر

[الخليـــة الشمسية]

1) *** أهمية الخلية الشمسية:-
2) الطاقة الشمسية:

لماذا الطاقة الشمسية:

يبحث الإنسان دوماً عن مصادر جديدة للطاقة لتغطية احتياجاته المتزايدة في تطبيقات الحياة المتطورة التي نعيش، ويعيب الكثير من مصادر الطاقة نضوبها وتكلفة استغلالها المرتفعة والتأثير السلبي لاستخدامها على البيئة، وقد تنبّه الإنسان في العصر الحديث إلى إمكانية الاستفادة من حرارة أشعة أمّنا الشمس والتي تتصف بأنها طاقة متجددة ودائمة لا تنضب، وأدرك جلياً الخطر الكبير الذي يسببه استخدام مصادر الطاقة الأخرى والشائعة (وخاصةً النفط والغاز الطبيعي) في تلوّث البيئة وتدميرها، مما. يجعل الطاقة الشمسية الخيار الأفضل على الإطلاق. ولهذا أضحت الطاقة الشمسية في عصرنا الحالي دخلاً قومياً لبعض البلدان حتى أنه في دول الخليج العربي والتي تعتبر من أكثر بلاد العالم غنىً بالنفط، تستخدم الطاقة الشمسية بشكل رئيسي وفعّال

وقد استخدمت الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء في تطبيقات عديدة منها محطات توليد الكهرباء وتحلية المياه، وتشغيل إشارات المرور وإنارة الشوارع، وتشغيل بعض الأجهزة الكهربائية مثل الساعات. والآلات الحاسبة، وتشغيل الأقمار الاصطناعية والمركبات والمحطات الفضائية، ومؤخراً رأينا على التلفاز سيارة تسير بالطاقة الشمسية تصل سرعتها إلى 60 ميل (96 كم) في الساعة.

وظهرت أهمية الطاقة الشمسية مجدداً كعامل مهم في الاقتصاد العالمي وفي الحفاظ على البيئة مع استخدام السخانات الشمسية في معظم دول العالم وحتى الغنية منها لتسخين المياه لمختلف الأغراض، وقد زاد في أهميتها نجاحها في التطبيقات العملية وسهولة تركيبها وتشغيلها وتعد المملكة الأردنية الهاشمية الدولة الأولى في منطقة الشرق الأوسط في تفعيل استخدام الطاقة الشمسية وتصنيع وإنتاج وتطوير السخانات الشمسية، والتي تصل نسبة استخدامها إلى 40% من مجموع البيوت السكنية، ويركب فيها سنوياً ما يقارب من 15.000جهاز طبقاً للإحصاءات الرسمية، هذا بالإضافة إلى استخدامها في المستشفيات والمدارس والفنادق وتدفئة برك السباحة، وفي العديد من التطبيقات الصناعية والخدمية والزراعية، حيث يتم تركيب السخان الشمسي والذي يتناسب مع جميع التطبيقات على اختلاف أحجامها كنظام مستقل ودائم أو كنظام مساعد لأنظمة

التدفئة المركزية وأنظمة تسخين المياه.

إن النجاح في استخدام الطاقة الشمسية يعتمد على العديد من العوامل المتكاملة، نذكر منها:

1-الموقع الجغرافي (قوة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة وسرعة الرياح.(

2-ملائمة النظام الشمسي مع حجم التطبيق.

3 -نوعية المنتج (النظام الشمسي).

4 -التقنية المستخدمة في تصنيع المنتج (النظام الشمسي).

5-جودة وكفاءة المكونات المستخدمة.

3) في تحويل الضوء أو الطاقة الشمسية إلي تيار كهربي (دون إستخدام مصدر كهربي خارجي)

4) تركيب الخلية الشمسية:

5) هي عبارة عن طبقة رقيقة من مادة شبه موصل نقي(سيليكون أو جرمانيوم) مطعمة بذرات ذات التكافؤ الثلاثي مطعمة من نفس المادة (النسب موصله مطعمة بذرات التكافؤ الخماسي حيث تلاحم هاتين المنطقتين يسمي (الوصلة الثنائية P.N Sunction) حيث أن المادة شبه الموصلة(السيليكون أو الجرمانيوم)ذات تكافؤ رباعي فإنه عندما تطعم بذرات ثنائية ذات تكافؤ خماسي فإنها تعطي في هذه الحالة طبقة من التنوع بينما عندما تطعم المادة الشبه موصله بذرات ثنائية من النوع الثلاثي التكافؤ فإنها تعطي في هذه الجالة طبقة من الضوء الموجب (P) وعندما تلاحم المنطقتين تكون الوصلة الثنائية.

س: علل تغطي الطبقة (P)لطبقة رقيقة جداً من مادة حساسه وغير عاكسه للضوء وقد يراعي أن يكون سمك الطبقة (P) رقيقه جداً.

حتي لا تمتص خلالها الإلكترونات الفوتونية المتكونة من سقوط الضوء علي تلك الطبقة

**** نظرية التجربة:**

الخلايا الشمسية ما هي إلا وصلات ثنائية لها مساحة كبيرة وخاصية إمتصاص ضوء الشمس بطريقة مثالية وتجمع الفجوات والألكترونات الناتجه (ويلزم أن تكون طاقة الفوتون الساقط أكثر من طاقة فجوة شبه موصل علل كي يتولد ازواج من الألكترونات والفجوات وتتحرك هذه الأزواج تحت تأثير مجال كهربائي إلي الوصلات الأوميت الطرفين فيتولد تيار كهربائي في الدائرة الخارجية.

في الشكل المقابل تسقط الطاقة القادمة من الشمس علي شريحه دقيقة من مادة السيليكون مما يؤدي إلي إكتسابها طاقة بسبب حركة الإلكترونات .

حركة الإلكترونات تولد فرق جهد كهربائي علي طرفي الخلية الطاقة الحرارية تحرك التيار الكهربائي مما يؤدي إلي سريانه

كلما زادت كمية الإشعاع الساقط علي شريحة السيليكون كلما تم إنتاج كمية أكبر من الطاقة

يمكن ضبط زاوية سقوط الشمس علي الخلية للحصول علي أكثر قيمة للتيار

تؤثر قيمة التيار الكهربائي المتولد بالحرارة المحيطة بالخلية الضوئية

الإحتياطات التي يجب مراعاتها عند تصنيع الخلية:

1- تصنع من ماده تكون طاقة الفجوة لها أقل من طاقة الفوتونات علل؟

لكي تكون طاقة الفوتونات علي الخلية كافية لإنتقال الإلكترونات من شريط التكافؤ إلي شريط التوصيل

2- أن يكون السطح العلوي للخلية مغطي بمادة شفافه نافذة للضوء غير عاكسه له وزات سمك صغير

3- أن تكون كمية الشوائب في الخلية كثيرة علل؟

لضمان وجود حوامل مختاره بنسب تغطي كثافه تياريه عاليه

أن تكون كمية الشوائب المختاره (ن)

تطبيقات الخلايا الشمسية تستخدم:

1- كمصادر للطاقة في مناطق النائية التي لا تصلها الكهرباء

2- في تغذية الدوائر الإلكترونية وتوفير الإنحياز لها في أجهزة الإتصالات الإلكترونية التي تكون موجودة في الصحراء

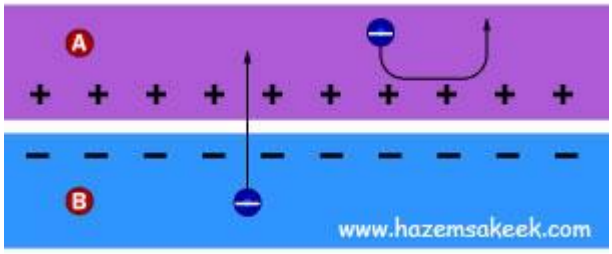
3- في الأقمار الصناعية كمصدر لتوفير الإنحياز للدوائر الإلكترونية

- يمكن النظر للخلية الشمسية أنها تحول الطاقة الشمسية للطاقة الكهربائية أو الإلكترونات إلي الفوتونات

الخلايا الشمسية بتقنية أشباه الموصلات

باختصار فان الخلايا الشمسية التقليدية المعروفة والتي تعتمد على أشباه الموصلات فإنها تصنع من بلورتين احدهما مطعم بشوائب تجعل البلورة n-type أي تحتوي على عدد من الالكترونات

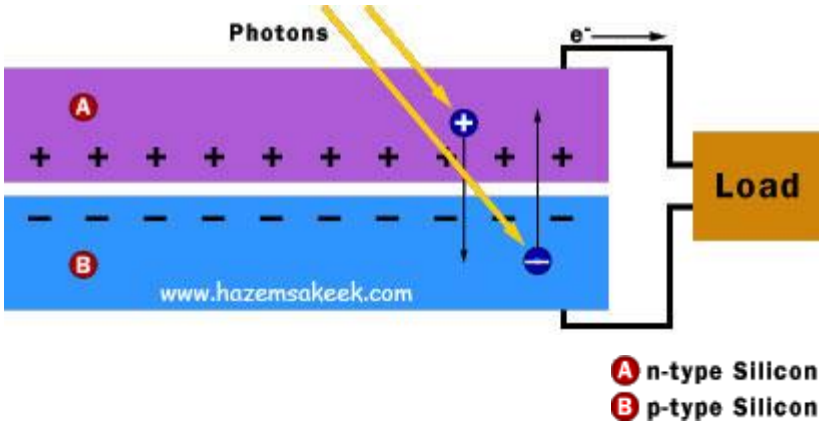
الحرة الإضافية والبلورة الأخرى تطعم بشوائب تجعلها من النوع p-type والتي تفتقد الالكترونات الحرة. وعند توصيل البلورتين مع بعضهما البعض لتشكل وصلة p-n فان بعض الالكترونات في n-type سوف يتدفق إلى p-type لسد العجز في الالكترونات فيه، علما بان الفقد في الالكترونات في p-type يعرف باسم فجوة hole.



A n-type Silicon
B p-type Silicon

وفي النهاية فان عدد كافي من الالكترونات سوف يتدفق عبر الحد الفاصل بين البلورتين ليعمل على مساواة مستويات فيرمي Fermi levels في البلورتين. وتتكون منطقة فاصلة تعرف باسم وصلة p-n (p-n junction)، حيث تستنزف حاملات الشحنة أو تتراكم على كلا جانبي الحد الفاصل. في مادة السليكون فان انتقال الالكترونات سوف يعمل فرق جهد عند الحد الفاصل تتراوح قيمته بين 0.6 إلى 0.7 فولت.

عند تعرض الوصلة الآن لأشعة الشمس فان فوتونات الضوء سوف تصطدم بالالكترونات المرتبطة في n-type وتعطيها المزيد من الطاقة بعملية تعرف باسم الإثارة الضوئية photoexcitation. وفي مادة السليكون، فان أشعة الشمس سوف تزود الالكترونات بالطاقة الكافية لتنتقل الالكترونات من حزمة التكافؤ (مستوى الطاقة المنخفض) إلى حزمة التوصيل (مستوى الطاقة الأعلى). والالكترونات في حزمة التوصيل تكون حرة الحركة. وعند توصيل وصلة p-n في دائرة كهربية فان الالكترونات سوف تتدفق من n-type إلى p-type وتقوم هذه الالكترونات بملء الفراغات في حزمة التكافؤ التي تركت فارغة بدون الكترونات. وبهذه الطريقة تقوم أشعة الشمس بتوصيل التيار الكهربي.



في أي مادة شبه موصلة semiconductor فان فجوة الطاقة band gap تعني أن الفوتونات التي تمتلك نفس قيمة فجوة الطاقة أو أكثر هي تلك التي تساهم في إنتاج التيار الكهربي. وفي حالة مادة السليكون silicon، فان معظم الضوء المرئي من الأحمر وحتى البنفسجي يمتلك الطاقة الكافية ليساهم في إنتاج التيار الكهربي. ولكن لسوء الحظ فان الطاقة الإضافية التي تمتلكها فوتونات الضوء الأزرق والبنفسجي تفقد في شكل حرارة. كما انه لكي نحظى بفرصة معقولة لاقتناص الفوتون في طبقة n-type يجب أن تكون سميكة بشكل مناسب. وهذا أيضا سوف يزيد من فرصة انطلاق إلكترون أخر ليتحد مع فجوة في المادة قبل أن يصل إلى الحد الفاصل لوصلة p-n. هذه التأثيرات تجعل أقصى كفاءة يمكن أن نحصل عليها محدودا في الخلايا الشمسية المصنعة من مادة السليكون، وحاليا فان الكفاءة تتراوح بين 12% إلى 15% في الأنظمة التجارية ويمكن أن تصل إلى 25% في المختبر.

حتى الآن فان المشكلة الأكبر في الخلايا الشمسية التقليدية هي التكلفة العالية لإنتاجها، فالخلايا الشمسية تتطلب طبقة سميكة من السليكون المطعم بالشوائب ليمتلك معدل امتصاص للفوتونات مقبولا، وعملية تصنيع السليكون مكلفة جدا. وقد وجد الكثير من الطرق المختلفة لتقليل التكلفة بما فيها تقنيات إنتاج الأغشية الرقيقة، ولكن حتى يومنا هذا فان تطبيقها لازال محدودا لوجود العديد من المشاكل العملية. ويوجد حاليا خط بحثي جديد نجح في زيادة كفاءة الخلايا الشمسية التقليدية يعتمد على إنتاج وصلات متعددة multi-junction إلا إن إنتاج هذه الخلايا مكلف للغاية ويمكن أن يكون مناسبا فقط لبعض المؤسسات الضخمة. وبصفة عامة فان الخلايا الشمسية المعدة للتثبيت على أسطح المنازل لم تتغير كفاءتها بشكل مناسب للاستخدام العملي بالرغم من انخفاض تكلفة الحصول عليها.

** الفرق بين الخلية الشمسية والخلية الكهروضوئية :

الخلية الشمسية

1- الخلية الشمسية لها تأثير ضوئي داخلي

2- تتركب من شبه موصل وبالتالي عند سقوط الفوتونات علي سطح الخلية فإن الفوتونات تؤثر علي الإلكترونات حيث تحررها من شروط التكافؤ إلي شريط التوصيل وتكون حركة حوامل الشحنة داخل البللورة ولا تتحرر منها تماماً

** الخلية الكهروضوئية:

1- لها تأثير ضوئي خارجي

تتركب من سطح معدني لفلز مثل السيريوم حيث تتميز الإلكترونات بإرتباط ضعيف بذراتها وبالتالي عند سقوط الفوتونات تتحرك

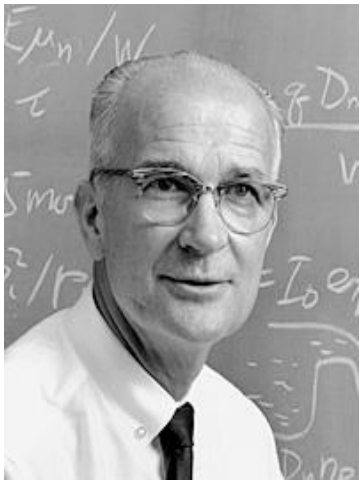
.

الترانزستور

(بالإنكليزية) (Transistor :اختصاراً لكلمتي Transfer Resistor أي مُقاوِمُ النَقْل) وهي نبيطة تعتبر أحد أهم مكونات الأدوات الإلكترونية الحديثة مثل الحاسوب اخترعه العلماء الأمريكيون) *والتر براتن (و)جون باردين (و)وليام شوكلي* قد تم التغلب على جميع عيوب الصمام الإلكتروني بإختراع الترانزستور

والتر براتن

جون باردين



وليام شوكلي

إستخدامات الترانزستور

لم يكن أحد يتوقع أن يقوم هذا الترانزستور البسيط بهذا الدور البالغ في حياة البشر وأن تظهر بسببه تطبيقات لم تكن لتخطر على بال مخترعيه ولا حتى على بال كتاب الخيال العلمي. إن الوظيفة الأساسية للترانزستور هي وظيفة في غاية البساطة وهي قدرته على التحكم بالتيار المار بين طرفين من أطرافه من خلال تيار أو جهد ضئيل جدا يتم تسليطه على الطرف الثالث. إن عملية التحكم بالتيار تتم بطريقتين اثنتين الأولى من خلال رفع أو خفض قيمة التيار تبعا لتيار أو جهد التحكم الصغير بحيث تكون العلاقة بينهما علاقة خطية وتسمى الدوائر الإلكترونية التي تعمل وفقا لهذه الطريقة بالدوائر الإلكترونية القياسية أو التشابهية .(analog electronic circuits) وهذه الطريقة تستخدم لبناء دوائر إلكترونية تشابهية كالمضخمات (amplifiers) والمذبذبات (oscillators)والمازجات (mixers) والمعدلات (modulators)والمكاملات (integrators)والمفاضلات (differentiators) وغيرها .أما في الطريقة الثانية فإن تيار أو جهد التحكم يقوم بوصل أو فصل التيار المار بين طرفي الترانزستور والذي

يستخدم في هذه الحالة كمفتاح أو مبدل إلكتروني (electronic switch)وتسمى الدوائر الإلكترونية التي تعمل وفقا لهذه الطريقة بالدوائر الإلكترونية الرقمية .(digital electronic circuits) وتستخدم هذه الطريقة لبناء دوائر إلكترونية منطقية كالدوائر المنطقية (logic circuits)والمسجلات (registers) والعدادات (counters) والنطاطات (flip-flops)والمردفات (multiplexors) وغيرها. وسنبين فيما يلي أن هذه الوظائف البسيطة للترانزستور قد تم استغلالها للقيام بوظائف أكثر تعقيدا وتم على أساسها تصنيع أجهزة ومعدات بالغة التعقيد تلعب دورا بالغ الأهمية في حياة الناس كأنظمة الاتصالات المختلفة وأنظمة البث الإذاعي والتلفزيوني والحواسيب وشبكات المعلومات وأنظمة التحكم والقياس وفي الأجهزة الطبية وغيرها الكثير

مميزات الترانزستور:

- -:صغر الحجم والوزن والذي يؤدى إلى تطوير الدوائر الإلكترونية في أن تكون صغيرة جدا
- -عمليات التصنيع الالية والتي تقلل التكلفة لكل وحدة مفردة
- -الجهود الصغيرة التي يستطيع العمل عليها مما جعله صالح لتطبيقات الدوائر ذات البطاريات الصغيرة و لا تحتاج إلى دورة احماء لمسخنات الكاثود بعد تطبيق القدرة
- -:الاستهلاك الضئيل للطاقة والكفأة العالية في استخدام الطاقة
- -طول العمر الافتراضى حيث يعمل بعضها إلى ما يصل إلى خمسين عاما
- -وجود النبائط المكملة وسهولة بناء الدوائر المتكاملة المتماثلة وهو ألامر المستحيل في حالة الصمامات
- -عدم الحساسية للصدمات الميكانيكية والاهتزاز مما سهل حل هذه المشكلة مثلا في حالة الميكروفونات

عيوب الترانزستور:

- لا يتحمل القدرات العاليه جدا (قدرته صغيره)
- ارتفاع درجه الحراره تسبب تلفه.

- نسبه الضوضاء الداخليه مرتفعه.
- تتغير خواصه بمرور الزمن.

أنواع الترانزستور

ان نوعى الترانزستور يختلفان عن بعضهما اختلافا طفيفا في كيفية وضعها في دائرة معينة فكل منها له ثلاثة اطراف تسمى في حالة ثنائى القطب القاعدة " Base" والباعث " Emitter" والمجمع " Collector"وبمرور تيار متغير في القاعدة سيظهر تأثره مجمعا في المجمع والباعث، وفي حالة ترانزستور تأثير المجال تسمى البوابة" Gate" ، المنبع" Source" ، المصب " Drain"ويتحكم الجهد على البوابة في فرق الجهد بين المنبع والمصب..

يمكن تقسيم الترانزستورات إلى عدة فئات حسب التقسيم

1 -:طبقا لشبه الموصل

جرمانيومى- سليكونى – جاليومى – زرنخيى – كربيدى سليكونى- عضوى ,, وهذه امثله فقط على تقسيم انواع الترانزستور طبقا لنوع الماده حيث ان هناك الاف الانواع حيث يظهر كل يوم نوع جديد من المواد التى تستخدم فى صناعة الترانزستور

2 -: طبقا للبناء

BJT ثنائى القطب، MOSFET تأثير المجال، IGBT الترانزستور ذو البوابة المعزولة

3 -: طبقا للقطبية

NPNالترانزستور من النوع السالب ويعنى منطقة من النوع السالب يليها منطقة من النوع الموجب يليها منطقة من النوع السالب

PNPالترانزستور من النوع الموجب ويعنى منطقة من النوع الموجبة يليها منطقة من النوع السالب يليها منطقة من النوع الموجب

4 -: طبقا لقدرة التشغيل

صغير – متوسط – كبير

5 -: طبقا لأقصى تردد تشغيل

موجات راديوية أو موجات الميكرومترية ويعطى أقصى تردد وفعال بجهد الثقل ويرمز له بالرمز FT والذي ينتج نسبة تكبير مساوية للوحدة

6-: طبقا للتطبيق المسخدم فيه

مفتاح – متعدد الأغراض – صوتى عالى الجهد – زوجى متماثل – عالى نسبة التكبير

7-: طبقا للتغليف الفيزيائى

ذو الثقب المعدنى - ذو الثقب البلاستيكى – المحمل سطحيا – سلسلة شبكة الكور – مغير القدرة

8 -: طبقا لمعامل التكبير(hfe)

لذلك فان ترانزسور معين يمكن ان يوصف بهذا الوصف (سليكونى – ثنائى القطب من النوع السالب – مغير للطاقة عالى التردد – مفتاح)

سوف تناول في دراستنا هذه الترانزستور ثنائى القطبية :

تركيب الترانزستور ثنائى القطبية

الترانزستور ثنائي القطبية ذو الوصلة المزدوجة هو نبيطة ذات ثلاث عناصر، هي الباعث (Emitter يتميز بصغر المساحة بالمقارنة بالمجمع ووفرة الشوائب به) ، والقاعدة (Baseتتميز بمساحة صغيرة جدا وقلة الشوائب) ،والمجمع (Collectorيتميز بكبر المساحة وقلة الشوائب بالمقارنة بالباعث) ، ويصنع من طبقات ثلاث شبه موصلة متوالية من الجرمانيوم أو السيليكون ، ليكون الترانزستور من النوع pnp (تقوم الفجوات الموجبة بالتوصيل الأساسى) أو النوع npn (تقوم الإلكترونات السالبة بالتوصيل الأساسى) كما هو موضح بالشكل (1) ، والذى يوضح أيضا الرموز المستخدمة والإتجاه الموجب للتيارات. السهم برمز الدائرة دائما يبين اتجاه " مرور التيار التقليدى" بين طرف القاعدة وطرف المشع (الباعث) . اتجاه السهم دائما يتجه من منطقة النوع الموجب P إلى منطقة النوع السالب N لكلا من

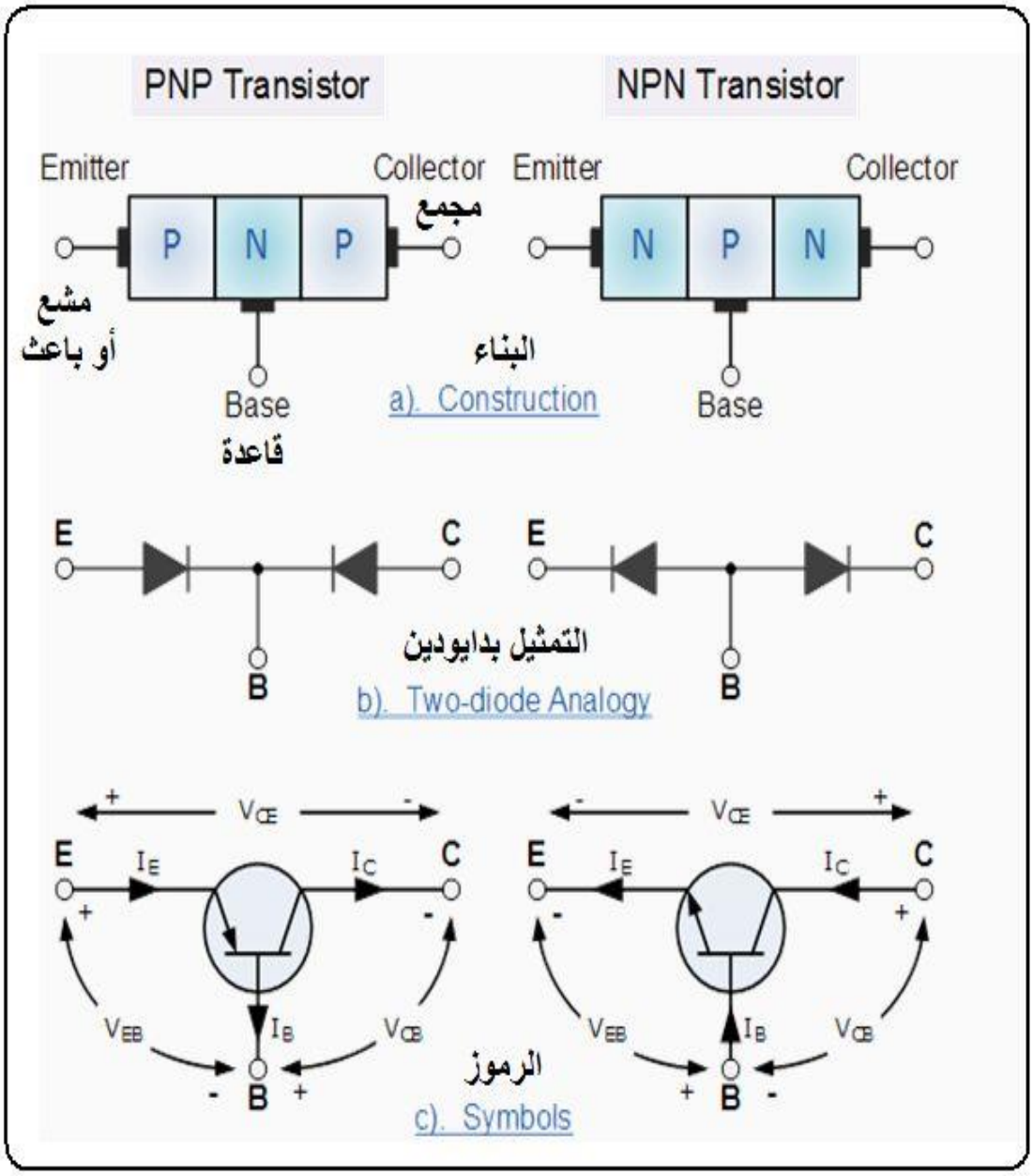
نوعى الترانزستور تماما كما فى رمز الدايود القياسى ودور منطقة الباعث(E) هو انبعاث حاملات الشحنة التى تتجمع أخيرا فى منطقة المجمع

(C) بينما تقوم منطقة القاعدة (B) بالتحكم فى قيمة تيار المجمع ، أما منطقة المجمع (C) فتقوم بتجميع الشحنات وغالبا يمر بها تيار الخرج.

كيف يمكن التفريق بين رمز الترانزستور npn و pnp

يمكن التفريق بينهما من خلال الأسهم إذا كان اتجاه السهم للداخل كان الترانزستور من النوع pnpأما إذا كن اتجاه السهم للخارج كان الترانزستور من النوع npn

..



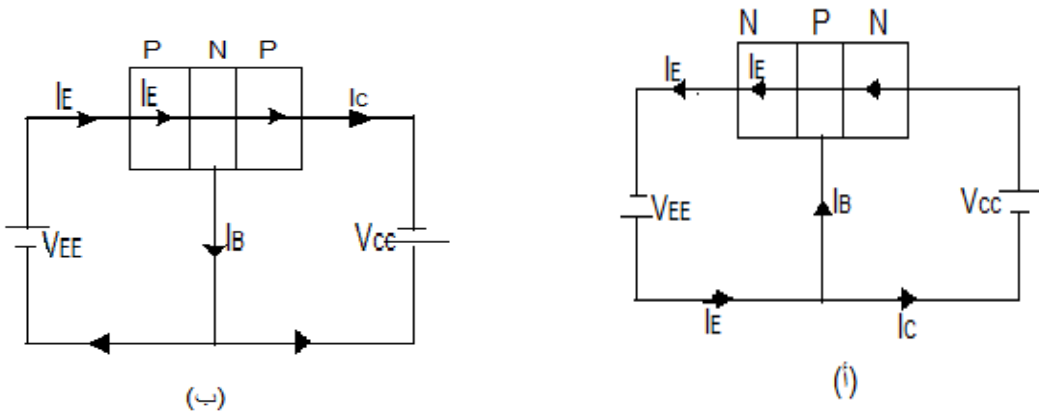
الشكل (1)

عمل وصلة الترانزستور ثنائي القطبية :

يمكن شرح عمل كل من وصلتى الترانزستور pnp او npn إذا علمنا أنه عند توصيل الترانزستور بالدائرة ، ونظرا لأنه من العناصر الفعالة ، فقد كان لزاما تغذيته بجهد مستمر ليقوم بتشغيله ، وهذا الجهد خاص بالترانزستور حيث يتم استهلاكه بداخله أثناء قيامه بوظيفته فى صورة طاقة أو قدرة مستهلكة .

ودائما يوصل جهد انحياز أمامى صغير بين القاعدة والباعث ،وجهد انحياز عكسي كبير بين القاعدة والمجمع. فإذا أخذنا على سبيل المثال الترانزستور من النوع ، npn ، كما هو موضح بالشكل رقم (2) – أ حيث ينتج من جهد الإنحياز الأمامى على وصلة الباعث بالقاعدة , تيار الباعث I_E الذى يعبر القاعدة عبر وصلتها فيفقد جزءا قليلا من شحناته فيها (نظرا لان سمكها صغير وتحتوى على نسبة قليله من الشوائب الفجوات فى هذه الحالة) ، نظرا لوجود شحنات مخالفة مكونة تيار القاعدة I_B ، ويمر باقى التيار فى وصلة المجمع مكونا تيار المجمع I_C ليكون :

$$I_E = I_C + I_B \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$



الشكل رقم (2) – أ ، ب

ففى أحوال التشغيل العادية ، تكون وصلة Pn من القاعدة إلى الباعث أمامية الإنحياز، حيث توصل منطقة القاعدة من النوع P بالقطب الموجب للبطارية ، ويوصل الباعث من النوع n بالقطب السالب ، وهكذا يحدث انسياب التيار بين منطقتى القاعدة والباعث . وتكون وصلة Pn من القاعدة إلى المجمع عكسية الإنحياز ، حيث توصل منطقة القاعدة من النوع p بالقطب السالب للبطارية ،ويوصل الباعث من النوع n بالقطب الموجب ، ومع كل ذلك فإن التركيز العالى للالكترونات الخارجة من الباعث يجعلها تنجذب نحو الجهد الموجب المسلط على المجمع ويصل إلى المجمع معظم هذه الالكترونات . وهكذا يمكن شرح عمل وصلات الترانزستور من النوع pnp كما هو موضح بالشكل رقم (2) – ب بنفس الأسس السابقة ، مع مراعاة أن يتم توصيل كل من القاعدة والمجمع بالقطب السالب للبطارية ، وأن تكون حاملات الشحنة المنبعثة والمجمعة من الفجوات .

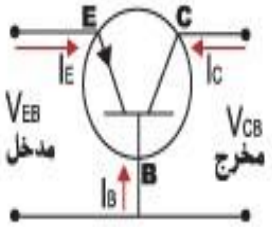
طرق توصيل الترانزستور :

يعتمد الشكل الذى يوصل به الترانزستور فى الدائرة على الغرض والهدف من استخدامه ، حيث يشترك أحد أطرافة الثلاثة ، الباعث (Emitter) ، والقاعدة (Base) ، والمجمع (Collector) ، مع كل من الدخل in put والخرج Output للدائرة .وهناك ثلاثة طرق لتوصيل الترانستور كما هو الحال فى دوائر التكبير هى :

طريقة القاعدة المشتركة : Common Base

كما هو واضح من المسمى حيث تكون فيها القاعدة (B) هى الطرف المشترك بين الدخل والخرج ، ويكون الدخل بين المشع (E) والقاعدة (B) ، ويكون الخرج بين المجمع (C) والقاعدة(B) شكل (3) ، مع توصيل طرف القاعدة بالأرضى أو إلى نقطة جهد مرجعىreference voltage تيار الدخل المار خلال الباعث كبير لأنه مجموع كل من تيار القاعدة وتيار المجمع نتيجة لذلك يكون تيار المجمع أقل من تيار الدخل للمشع ومن ثم يكون "كسب التيار" لهذه الدائرة أو نسبة نقل التيار (α) اقل من الواحد الصحيح. وفى مثل هذا النوع يكون كسب التيار

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} < 1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$



شكل (3)

هذا النوع من دوائر المكبرات يكون "دائرة مكبر جهد غير عاكس non-inverting voltage " amplifier , أى أن جهدى إشارة الدخل Vin وإشارة الخرج Vout تكونان فى نفس الوجه. in-phase هذا النوع غير شائع نتيجة لخصائص الارتفاع الغير عادى فى الكسب أيضا هذا النوع له نسبة مرتفعة لمقاومة الخرج بالنسبة لمقاومة الدخل أو بعبارة أكثر أهمية النسبة بين "مقاومة الخرج output resistance " (Rout) إلى "مقاومة الدخل " input" resistance (Rin)"تعطى قيمة "كسب المقاومة. ""Resistance Gain"نتيجة لذلك فإن كسب الجهد (Av) لذه الدائرة يعطى بالعلاقة

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_c \times R_{out}}{I_e \times R_{in}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\ldots 3)$$

حيث:

I_c/I_e هو كسب التيار current gain - alpha (α)

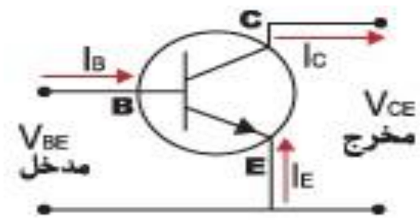
و RL/Rin هو كسب المقاومة

و تستخدم هذه الدائرة فقط فى دوائر المكبر ذات المرحلة الواحدة single stage amplifier مثل المكبر الابتدائى للميكروفون microphone pre-amplifier أو مكبرات التردد العالى radio frequency amplifiers (Rf) لأن لها استجابة response جيدة جدا للترددات المرتفعة

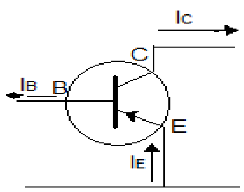
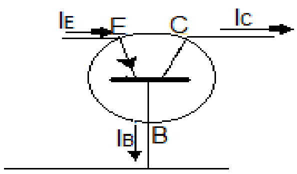
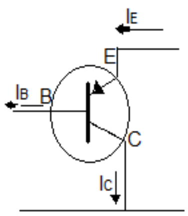
طريقة المشع (الباعث) المشترك : Common Emitter

وهو الأكثر شيوعا واستخداما ،وفيه يكون المشع (E)هو الطرف المشترك بين الدخل والخرج ،ويكون الدخل بين القاعدة (B)والمشع (E)،و يكون الخرج بين المجمع (C) والمشع (E) ، ومن هنا يأتى السبب فى تسميتها بالمشع المشترك.وفى مثل هذا النوع يكون كسب التيار أو نسبة نقل التيار (β)أكبر من الواحد الصحيح شكل(4)يوضح وضع الباعث المشترك.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} > 1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$



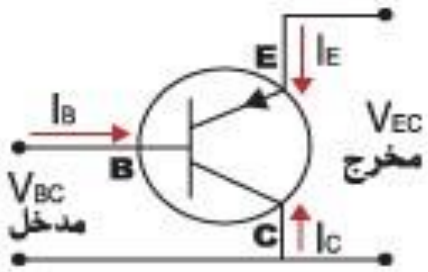
شكل(4)

	المشع المشترك	القاعدة المشتركه	المجمع المشترك
			
R$_i$	متوسطه	منخفضة	عالية جدا
R$_o$	متوسطه	عالية	صغيرة
G$_i$	متوسط	أقل من الواحد	عالى
G$_v$	عالى	يتوقف على مقاومة الحمل	أقل من الوحده
	جهد الدخل والخرج مختلفان فى الطور	جهد الدخل والخرج فى نفس الطور مع الدخل	جهد الدخل والخرج فى نفس الطور

فى هذه الحالة " التيار الخارج من الترانزستور يجب أن يساوى التيارات الداخلة للترانزستور" أى $I_e =$ $I_c + I_b$. ونظرا لصغر القاعدة كما ذكر سابقا يمكن القول ان تيار الباعث يساوى تقريبا تيار المجمع أيضا وبالتالى يكون "كسب التيار" لهذه الدائرة "كبير جدا" لأنه النسبة Ic/Ibويرمز له بالحرف اليونانى "بيتا (β) ,Beta "

طريقة المجمع المشترك:Common Collector

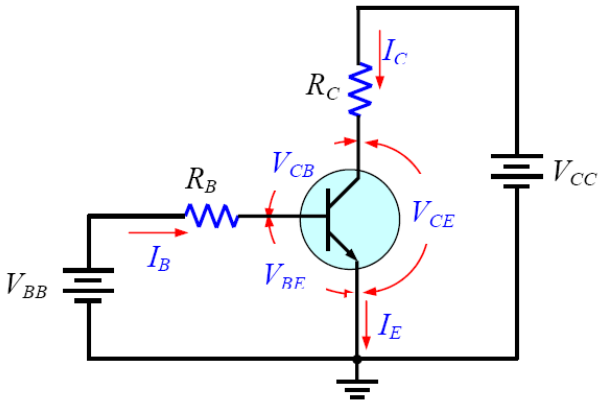
حيث يكون المجمع (C)هو الطرف المشترك بين الدخل والخرج ،ويكون الدخل بين القاعدة (B)والمجمع (C)،ويكون الخرج بين المشع (E)والمجمع (C)،ومن هنا يأتى السبب فى تسميتها بالمجمع المشترك شكل(5) .وتسمى أيضا توصيلة تابع المشع (Emitter Follower Connection)أو تابع المشترك ،ولا تستخدم كمكبر ولكنها تستخدم كمواءمة للمانعات .



شكل(5)

تحليل الجهد والتيار Current and Voltage Analysis

- لتحليل الجهد والتيار ناخذ الدائرة الاساسية لتغذيةالترانزستور , وفيها يوصل طرف الباعث بالارض ويكون هو الطرف المشترك بين الدخل والخرج كما فى الشكل (6) حيث توجد ثلاث تيارات وجهود وهى:



شكل (6)

- I_B تيار القاعدة
- I_E تيار الباعث
- I_C تيار المجمع
- V_{BE} الجهد بين القاعدة والباعث
- V_{CB} الجهد بين المجمع و القاعدة
- V_{CE} الجهد بين المجمع والباعث

التوصيل الامامى بين القاعدة والباعث يتم عن طريق V_{BB} (جهد البطارية) و التوصيل الخلفى بين الباعث والمجمع يتم عن طريق V_{CC}(جهد البطارية) :

وبتطبيق قانون كيرشوف على دائرة الدخل لايجاد الجهد الواقع على المقاومة R_B

$$V_{R_B} = V_{BB} - V_{BE} = I_B R_B$$

وبالتالى يكون تيار القاعدة :

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{EB}}{R_B}$$

وبتطبيق قانون كيرشوف على دائرة الخرج لايجاد الجهد الواقع على المقاومة R_C

$$V_{R_C} = V_{CC} - V_{CE} = I_C R_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

الجهد بين الباعث والمجمع

يمكن حساب تيار المجمع كما يلى:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$

$$I_C = \beta \times I_B$$

الجهد بين المجمع والقاعدة

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$

الجهد بين الباعث والقاعدة

$$V_{EB} = V_{CE} - V_{CB}$$