اشباه الموصلات

1-1 مقدمة :

تعتمد الخواص الكهربائية للذرة على مدى ما تشـــد نواة تلك الذرة لإلكتروناتها الخارجية (التكافؤية) فتكون المواد موصـلة للكهربائية conductor ، ان سـهل ازالة التي يصـعب فيها ازاحة الكتروناتها التكافؤية من ذراتها فأنها تعرف بالمواد العازلة للكهربائية الكتروناتها التكافؤية، كما هو الحال في المعادن) كالفضة والنحاس .. الخ) اما المواد insulator كالخشب والبلاستيك .... الخ .

ويوجد في الطبيعة مواد اخرى تقع بين النوعين المذكورين اعلاه من حيث ايصـاليتها الكهربائية من عدمها وتسـمى باشـباه الموصـلات أو انصـاف الموصـلات . semiconductors كما هو الحال في عنصـــري الجرمانيوم Ge والســيليكون Si وبعض المركبات الكيمياوية ويطلق احيانا على تقنية اشباه الموصلات اصطلاح ، الحالة الصلبة solid state اذ ان التوصيل يحدث في مواد صلبة وليست في حالات سائلة او غازية ... او حتى فراغية كما

ولرب ســائل يســأل : كيف يمكن للشــحنات أن تنتقل خلال جســم صــلب ؟ وللإجابة على ذلك باختصـار يتحسـن تصـور التركيب الكوني للذرة حيث أن الالكترونات تحوم وعلى سـافات بينية بعيدة جدا نسـبة لحجمها حول النواة . كما هو الحال تماما مع المجرات في هذا الكون الهائل اي ان الجســم الصــلب ليس صــلبا بمعنى الكلمة حيث ان فراغاته تزيد كثيراً عما فيه من صــلابة حقيقية .

2-1 الموصلات والعوازل واشباه الموصلات :

ان نموذج الذرة المتكون من نواة تحوم حولها الالكترونات يفيد في تعليل الكثير من خواص المادة حيث تكون الالكترونات متحددة بمستويات طاقة معينة فالطاقة الكلية للإلكترون في الذرة تتكون من طاقته الحركية نتيجة حركته المستمرة وطاقته الكامنة اعتمادا على بعده من النواة والطاقة الكلية المتمثلة من مجموع الطاقتين المذكورتين تحدد مستوى allowed energy معين من مستويات الطاقة المعروفة بمستويات الطاقة المسموحة كما ان عدد الالكترونات التي يمكن ان تشغل مستوى ما من هذه المستويات levels هو اثنان فقط

والالكترونات بطبيعة الحال كغيرها من الأجسام الفيزيائية تحاول الاحتفاظ بأقل ما يمكن من طاقة عليه فان المستويات تملأ اولا بأول وابتداء من اقربها للنواة . لتوضيح المقصود بمستويات الطاقة يمكن اختيار ذرة الهيدروجين باعتباره ابسط الذرات حيث تحوي على نواة واحدة يحوم حولها الكترون واحد شاغلا ادنى مستويات الطاقة) اعتياديا) والمعروفة بالحالة الدركية ground state والمتمثلة بأقرب المدارات للنواة . اما مقدار هذه الطاقة فتساوي e713.6 وهي تساوي قيمة الطاقة اللازمة لتكوين ابون الهيدروجين الموجب بإزالة الكترونه والمعروفة باسم جهد التاين ionization potential

يبين الشكل (13) مخططاً ذا بعد واحد لمستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين وقد رسم على المحور العمودي وبتدريج سالب ليعني أن الالكترون الملتزم بالنواة يمتلك طاقة سالبة نسبة لمستوى الصفر. اي ان رفع الالكترون الى مستوى الصفر يتطلب اكتسابه طاقة. اما مستوى الطاقة الذي يلي الحالة الدركية في ذرة الهيدروجين فيقع على e710.2 من الحالة الدركية ولرفع الكترون الى ذلك المستوى يتطلب توفير الطاقة اللازمة من مصدر خارجي مثال ذلك تحفيز الالكترون ضوئيا ومما يجدر ذكره ان الالكترون لا يمكن ان يقع في موضع بين المستويين ، حيث ان الفجوة بينهما ويطلق عليها حزمة لا تسمح لاستقرار الالكترون فيها وقيمتها (97) كما ان الالكترون لا يمكن البقاء طويلا في المستوى التالي (المحفز) ، حيث أنه سرعان ما يهبط الى مداره الأصلي بعد انتهاء تأثير الطاقة المحفزة ، وذلك تطبيقا optical excitation الطاقة المحظورة forbidden energy band لظاهرة ملء المستويات ذات الطاقات الواطئة اولا .

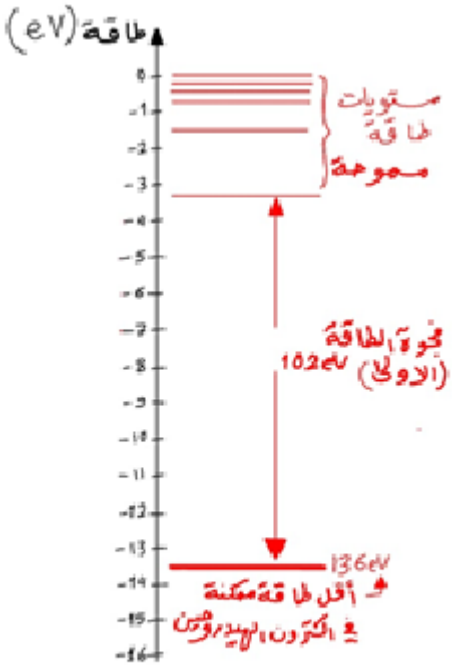
- قاعدة بولي الاستثنائية Pauli exclusion principle

اما الزيادة بالطاقة الناتجة عن هبوط الالكترون إلى مداره الأول فتفد بشـــكل فوتونات لون اى تردد كالاتي من المعادلة

$$\nu = \frac{E}{h}$$

حيث تمثل E : فرق البطاقة بين المستويين

اما بالنســـبة لذرة تمتلك أكثر من الكترون واحد فإن مخطط الطاقة يكون مشـــابها للذي ســـبق والاختلاف طلع بتعلية حسابات مستويات الطاقة وبين الشكل (2-3) مخططا لمستويات الطاقة لذرة الســيليكون التي تمتلك 14 الكترونا في مداراتها اي ان المســتويات الأربع عشــرة الأولى ستشغل بالإلكترونات مع تواجد مستويات اخرى اعلى منها فارغة. وهنا ايضا يمكن لالكترون ما الى يتحفز ويصعد إلى مستوى ذي طاقة اعلى .



(شكل 1-1)

شكل (2-3)

كل ما تقدم ذكره آنفاً من دراسة حول الذرة وترتيب الكتروناتها تم بافتراض ان الذرة منفصلة لوحدها. وهذا خلاف ما هو متواجد في الجسم الصلب ، حيث تقارب العدد الهائل من تلك الذرات مع بعضها يؤدي حتما لتأثر الكترونات ذرة ما بجاراتها من الذرات الاخرى وعليه ونتيجة لهذا التفاعل بين الذرات تقسم مستويات طاقة الالكترونات للذرة المنفردة الى , حزم كل حزمة منها ذات مستويات طاقة متقاربة جدا أو متصلة من بعضها عوضا عن المستويات المنفردة مكونة ما يسمى بحزم) أو شرائط (الطاقة Energy bands ومن هذه الحزم هناك حزمتين تحددان الخواص الالكترونية للمادة حيث أن حزم التكافؤ valence band تتكون من الانقسامات التي تحدث في مستويات الطاقة التي تقع فيها الكترونات التكافؤ اي الالكترونات ذات الطاقات العالية التي تحوم في المدارات الخارجية . اما حزمة التوصيل فهي ذات مستويات طاقة اعلى من تلك في حزمة التكا ويفصل الحزمتين الفجوة المحظورة او فجوة الحزمة band gap - وهاتان الحزمتان مشتركتان بين كافة الذرات وليست مقتصرتان على ذرات منفصلة عن بعضها مما ينتج للإلكترونات امكانية الحركة خلال المادة الصلبة وضمن حزمتي التكافؤ والتوصيل ، ومن هنا تأتي ظاهرة سريان التيار الكهربائي في المادة.

وبطبيعة الحال فإن الالكترونات تحتاج لاكتساب طاقة من مصدر خارجي يمكنها الانتقال من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل عبر فجوة الحزمة ومصادر الطاقة الخارجية يمكن أن تكون ضوئية او حرارية ، والمعروف في الكثير من المواد الصلبة ان حرارة الغرفة تكفي لتحفيز الكتروناتها التكافؤية لعبور فجوة الحزمة ويطلق على هذه الالكترونات عندئذ المحفزة حراريا . thermally excited

ان التوصيل الكهربائي في الاجسام الصلبة يعتمد بصورة رئيسية على عوامل ثلاث

1- عدد الالكترونات المتوفرة للتوصيل او بتعبير آخر . عدد الالكترونات في وحدة الحجم

اي كثافتها electron density

2 - توفر مصدر الطاقة

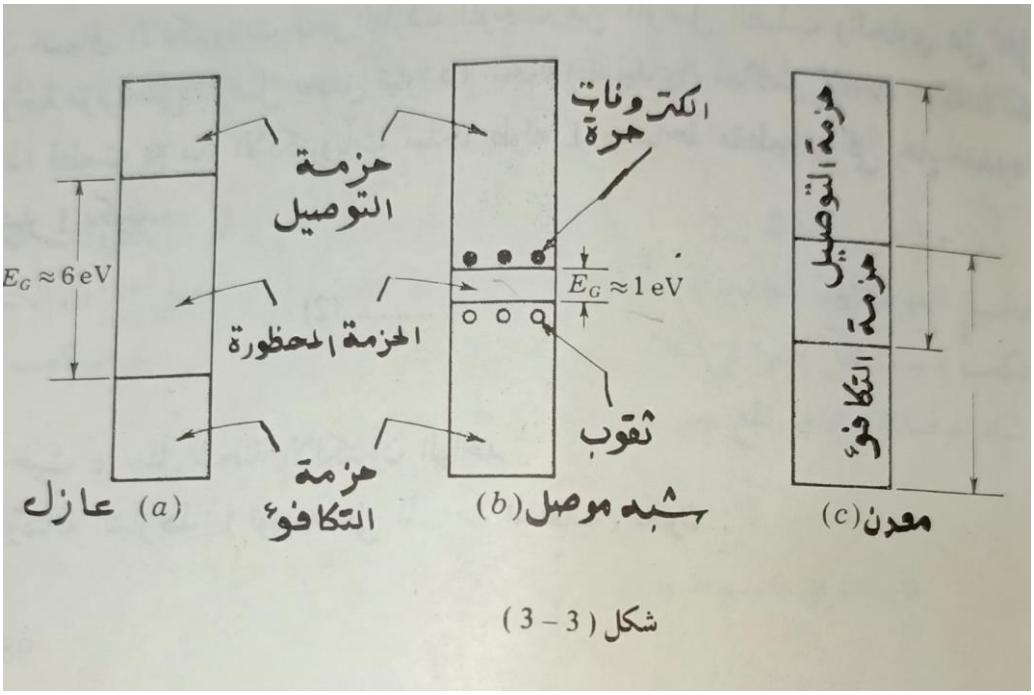
3 - توفر مستويات طاقة مسموحة كي تنتقل اليها الكترونات التوصيل نتيجة اكتسابها طاقة

من المصدر .

ومنطقي ان التوصـيل يزداد كلما زادت كثافة الالكترونات وكلما كانت كثافة مسـتويات لا يوجد المحل الشـاغر لاسـتلام الالكترونات المحفزة . الالكترونات كذلك لا يتم التوصـيل ان كانت الحزمة ممتلئة تماماً حيث في هذه الحالة لا يوجد المحل الشاغر لاستلام الالكترونات المحفزة

مما سبق أصبح الآن بالإمكان التمييز بين العوازل واشباه الموصلات والموصلات الكهربائية اسـتناداً إلى حزم الطاقة . والشـكل (3-3 a) يبين مخططاً نموذجيا لحزم الطاقة في المواد العازلة ، حيث تكون حزمة التكافؤ مملوءة تماما بينما تكون فجوة الحزمة E في غضـون 5 eV أو اكثر وعليه يصـعب على الالكترونات عبور مثل هذه الفجوة الواسـعة وبذلك تبقى حزمة الوصيل فارغة. وهذا سبب عدم تمكن العوازل من التوصيل الكهربائي. أما مخطط حزم الطاقة في اشـباه الموصـلات (شـكل 63) فلا يبدو مختلفا كثيرا عن نظيره في العوازل الا في سـعة الفجوة حيث تكون فى اشـباه الموصـلات في حدود lev او اقل . ومثل هذه الفجوة تسـمح لبعض الالكترونات المحفزة حراريا باجتيازها والعبور الى حزمة التوصيل . وهكذا تشترك كلنا الحزمتين في توفير شروط التوصيل من وجود الالكترونات ومستويات الطاقة المسموحة فيهما . حيث أن الالكترونات عند تركها حزمة التكافؤ تبقى وراءها مسـتويات شـاغرة ومما يجب ملاحظته ان في درجة حرارة الصفر المطلق ينعدم التحفر الحراري للالكترونات وعندئذ تصبح اشـباه الموصـلات عوازلا كما ان التوصـيل في اشـباه الموصـلات يمكن تعزيزه باضـافة بعض الشوائب الى المادة .

الشـكل (3-3 c) مخططاً لحزم الطاقة في الموصـلات حيث تتداخل حرمنا التكافؤ والتوصـيل بعضـها ببعض وبذلك تنعدم الفجوة بينهما واهم تأثيرات ذلك أن الالكترونات التكافؤية تكون طليقة في حركتها خلال المادة وعليه تكون المعادن (كالفضـة والنحاس والالمنيوم موصـلات جيدة للكهربائية ان كثافة الالكترونات المتوفرة للتوصـيل تكون ثابتة نسـبيا نتيجة تداخل حزمنا التكافؤ والتوصيل ، بينما في اشباه الموصلات تزداد الكثافة طرديا بازدياد درجة الحرارة حيث يزيد تحفز الالكترونات مسـببة اجتياز فجوة الحزمة. وهذا الاختلاف في اعتماد التوصـيل على درجة الحرارة يعتبر اهم مميزات الموصل عن شبه الموصل


حزمة التوصيل
$E_G \approx 6\,eV$
الحزمة المحظورة
حزمة التكافؤ
عازل (a)
الكترونات حرة
$E_G \approx 1\,eV$
ثقوب
شبه موصل (b)
حزمة التوصيل
حزمة التكافؤ
معدن (c)

شكل (3 – 3)