البـــاب الخامس

الخـــواص الكهربائية للمـــــواد

(Electrical Properties of Materials)

1.5. مقدمـــــــة .

2.5. العـــازل وشبه الموصـــل والموصـــل .

3.5. أشبـــاه الموصـــلات .

1.3.5 التـــركيب الذري لأشباه الموصلات .

2.3.5 طريقة عمل أشباه الموصلات .

3.3.5 أشباه الموصلات ذات الشوائب .

4.3.5 الوصلة الثنائية .

4.5. المغنـــاطيـــس .

5.5. الخـــواص المغناطيسيـــة .

6.5. خطـــوط المجـــال المغناطيسي .

7.5. المـــواد المغناطيسيـــة .

8.5. الناقليـــة المغناطيسيـــة .

9.5. النـــاقلات .

10.5. ضروريـــات القابلات .

11.5. المـــواد العازلـــة لخطوط النقـــل .

12.5. التـــلوث .

13.5. طـــلاء العـــوازل .

14.5. حمـــاية الأجزاء المعدنيـــة من التآكـــل .

15.5.كيفيـــة اختيار المواد الموصلـــة والعازلـــة .

16.5. الخـــواص الكهربائيـــة لبعض الفلزات الموصلة واستعمالاتها .

17.5. العـــوازل الكهربيـــة .

18.5. تمـــارين .

obeikandl.com

1.5 مقدمـــة

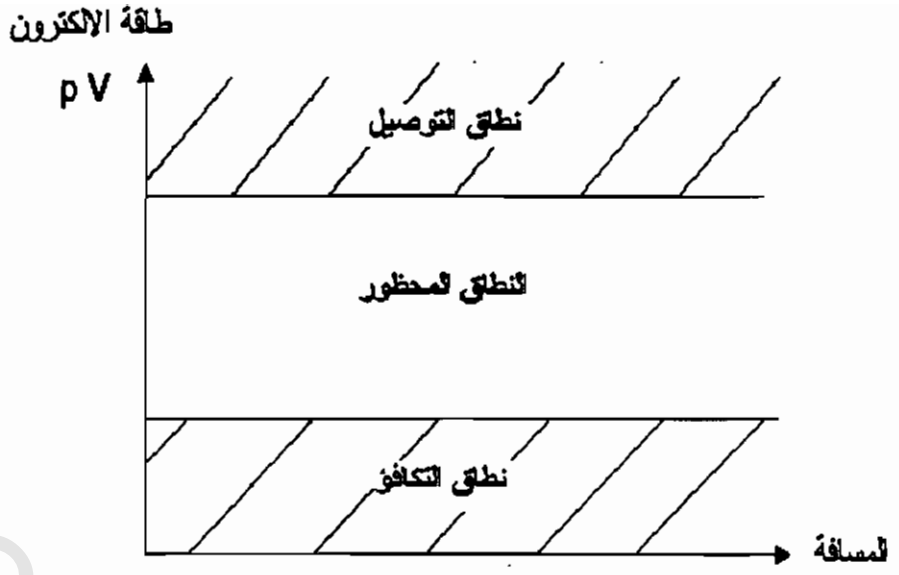
أشرنا سابقاً أن الذرة تتركب من نواة موجبة الشحنة في المركـز تـدور حولها في مدارات إلكترونات سـالبة الشحنة ، والشـحنة الموجبـة للنـواة تعـادل تماما مجموع الشحنات السـالبة للإلكترونـات التـي تـدور حـول النواة . وإن الذرة في حالتها الطبيعية متعادلة كهربائيـاً ، حيـث أن كـل إلكترون يمثـل كمية مجموعة الشحنة السالـبة لذلك فـإن كمية كافيـة مـن الشحنات الموجبة ضرورية لموازنة الشحنات السالبـة للإلكترونات ، وتقـع هذه الجسيـمات الموجبة في المنطقة المركـزية للذرة وتـدعى البروتونـات كذلك تحتوي الذرة على مكونات ذات شحنة متعادلة وتسـمى النيوترونـات . وكما هو معروف أن المادة تتكون من عدة ذرات من نوع واحـد أو مختلفـة الأنواع . فمثلاً الهيدروجين هو أبسط تركيـب ذري له بـروتون واحد فـي النواة مع إلكترون واحد في المدار الخارجي .

2.5 العـازل وشبـه الموصـل والموصـل

من المعروف أن المواد الصلبة لها نطاق توصيل ونطاق تكـافؤ يفصـل بينهما نطاق محظور ، هذه النطاقات تسمى بنطاقات مستويات الطاقة وتعرف هذه النطاقات كما يلي :

a) نطاق التوصيل (Conduction Band)

وهـو النطاق العلوي للشكل (5-1) . والذي يمثـل مسـتويات الطاقـة للإلكترون فعندما توجد إلكترونات في هذا النطاق فإنه يمكن تحريكها بتسـليط مجال كهربائي عليها. وبينما يكون للمادة عدد كبير من الإلكترونات في نطاق التوصيل ، فإن المادة تعمل كموصل للكهرباء .



الشكـــل (5-1)

العلاقـــة بيـــن طاقـــة الإلكتـــرون والمسافـــة

b) النطـــاق المحظور (Forbidden Band)

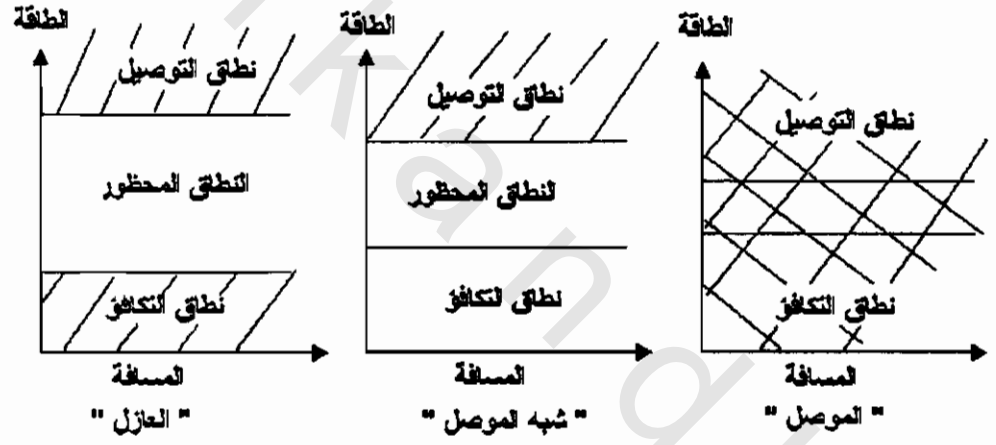
هذا النطاق يوجد مباشرةً تحت نطاق التوصيل ولا يوجد إلكترون في هـــذا النطاق ويمكن للإلكترونات أن تقفز ذهـــاباً أو إيـــاباً من نطاق التكافؤ السفلي إلى نطاق الـــتوصيل العلوي ولكنها لا تستقر إطلاقاً في النطاق المحظور .

c) نطاق التكافـــؤ (Valence Band)

يتكون هذا النطاق من ســـلسلة مستويات طاقـــة تحـــــوي إلكـــــترونات التكافؤ ، هذه الإلكترونـــات مرتبطة أكـــثر أو أقـــل بالنسبة للمفردة ومن لـــم يكن مدى تحركها محدوداً بدرجة أكبر من مدى تحـــرك الإلكترونـــــات فـــي نطاق التوصيل . إن مقدار اتساع الـــفاصل بيـــن نطـــاق التوصـــيل ونطـــاق التكافؤ هو الذي يحدد فيما إذا كانت المادة عازلة أو شبه موصلة أو موصـــلة وكما مبين في الشكل(5-2) ، الذي يوضـــح الفـــرق بـــين العـــوازل وأشـــباه الموصلات والموصلات .

ففي المواد الموصلة يندمج نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل إذا سلطت قـوة دافعة خارجية صغيرة على الموصل فهي كافية لإحداث سريان التيار .

أما في المواد العازلة فيوجد اتساع شديد في النطاق المحظور ، والنطـاق المحظور يتسع كلما زادت كمية الطاقة اللازمة لنقل الإلكترونات فـي نطـاق التكافؤ إلى نطاق الـتوصيل . وفي العـوازل تكون حزمة الطاقـة مشـغولة تماما بالإلكترونات وبذلك يحتاج العازل لكمية كبيرة من الطاقـة لمرور ولـو كمية ضئيلة من التيار خلال المادة . أما بالنسبة إلى المـواد شـبه الموصـلة فسوف نتطرق إليها بالصورة المفصلة الآتية .



الشكـل (5-2)

يمثـل الفـرق بين الموصل وشبـه الموصـل والعـازل

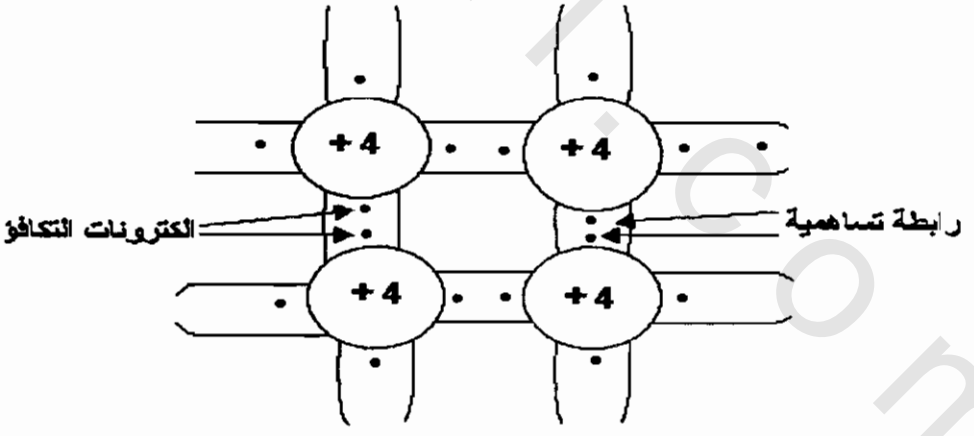
3.5 أشبـاه الموصـلات (Semi-Conductors)

هذه المواد عند درجات الحرارة المنخفضة لا تحتوي على إلكترونات حرة الحركة ولذلك تعتبر عوازل ، ولكن عند درجات الحرارة العالية فـإن بعـض الإلكترونات في هـذه المواد ستـتحرر من ذراتها وتصبـح حـرة الحركـة

تاركة الذرة موجبة الشحنة وهي تسمى بالفجوة " الثقب " ، وفي هـذه المـواد فيتم التوصيل الكهربائي عن طريق الإلكترونات المحـررة . الآن التوصـيل الكهربائي في هـذه الحالـة منخفض و يـمكن زيـادة عـدد الإلكترونـات الحرة في أشـبـاه الموصلات ، وبالتالي زيادة القدرة على التوصيل وذلـك بـإعطاء هذه المواد طاقة معينة كتسخينها إلى درجات حرارة مرتفعة مثلاً أو إسقاط أشعة ذات أطوال موجية معينة عليها .

1-3-5 التركيب الذري لأشباه الموصلات (السليكون ، الجرمانيوم) .

يحتوي الغلاف الخارجي لأشبـاه الموصلات علـى أربعـة إلكترونـات فـالسليكون تحتـوي الذرة الواحدة منه على أربعة عشر إلكـترون منهـا أربعة إلكترونات في الغلاف الخارجي ، والجرمانيوم تحتوي الذرة الواحدة منه على (32) إلكترون منها أربعة إلكترونات في الغلاف الخـارجي لـذا فـإن التركيب الذري لأشباه الموصلات يتبع خط رباعي حيث تشترك أو تساهم كل ذرة بأخذ إلكترون التكافؤ التابع لها من الـذرة المجـاورة وتسـمى هـذه بـالرابطة التساهمية و يبـين الشكـل (5-3) التركيـب البلـوري لأشـباه الموصلات .



الشكل(5-3)
التركيب البلوري لأشباه الموصلات

2-3-5 طريقة عمل أشباه الموصلات

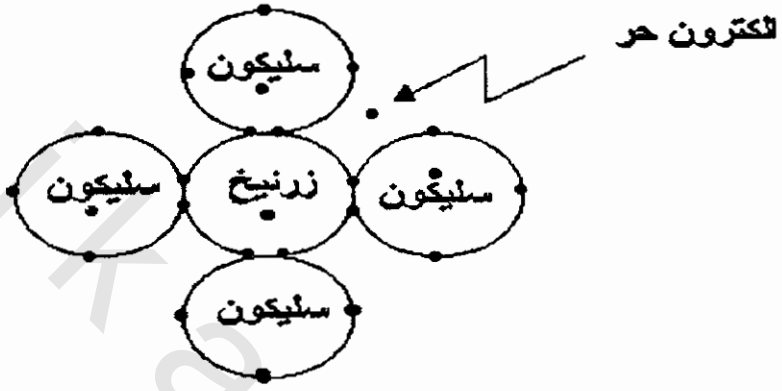
نتيجة للتركيب البلوري لأشباه الموصلات فإنه من الصعب جدا قطع الرابطة التساهمية في درجات الحرارة المنخفضة ، وبالتالي فإنه من الصعب تحرير الإلكترونات الداخلة في تكوين الرابطة التساهمية إلا أنه في درجات الحرارة العالية فإن عدد قليل من الإلكترونات ستكون لديه طاقة تمكنه من قطع الرابطة التساهمية التابعة لها . بذلك يصبح الإلكترون حر الحركة ويشترك في التوصيل الكهربائي عندئذ سوف يخلف يترك كل إلكترون متحرر مكاناً فارغاً يدعى بالفجوة (hole) وتكمن أهمية الفجوة في أنها تعتبر ناقلة للتيار الكهربائي شأنها في ذلك شأن الإلكترون .

فعندما تتكون فجوة نتيجة تحرر إلكترون من النسق البلوري يصبح من السهل على أي إلكترون آخر في ذرة مجاورة أن يتحرر ويتحرك ليملأ هذه الفجوة مخلفا مكانه فجوة أخرى . وهكذا فإنه عندما تتحرك إلكترونات نتيجة لوجود البلورة في درجات حرارة معينة تتكون فجوات موجبة الشحنة وليكن الافتراض أن حركتها في الاتجاه المعاكس لحركة الإلكترونات . تدعى كل من الإلكترونات والفجوات هذه بحاملات الشحنة بالتوصيل الكهربائي .

3-3-5 أشباه الموصلات ذات الشوائب

يوجد نوى من الشوائب التي تحسّن موصلية شبه الموصل ويبين الشكل(5-4) مقطع لتركيب شبكي عندما تحل شائبة خماسية التكافؤ مثل الزرنيخ محل ذرة السليكون ، وأربع من إلكترونات التكافؤ لهذه الشائبة تشترك في الروابط التساهمية ، بينما الإلكترون الخامس يكون في حالة مختلفة فهو لا يشترك في عملية التأثر وهذا يعني أنه غير موجود في حزمة التكافؤ وكما موضح في الشكل(5-4) ، فمن المتوقع أن كمية صغيرة من الطاقة

تكفي لتحرير هذا الإلكترون الإضافي مقارنة مع تلك الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات المشاركة في الأواصر التساهمية . هذا النوع من الشوائب ذات التكافؤ الخماسي يسمى مانح(Donor) ، لأنه يوجد إلكترون متحرك هو الإلكترون الخامس الزائد عند الترابط الرباعي . والسليكون المرتبط بذرات الشوائب يسمى سليكون من نوع (n) لأن غالبية حاملات الشحنة المتحركة هي عبارة عن الإلكترونات السالبة .

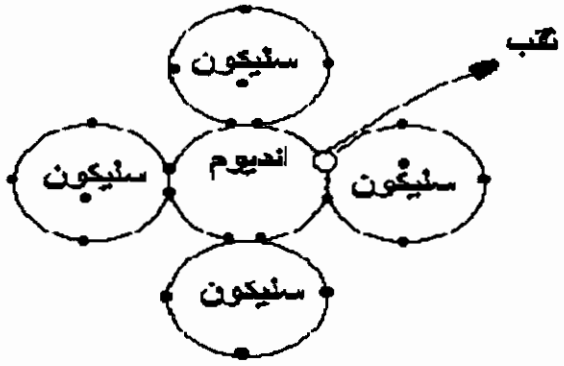


الشكـل(5-4)

ارتباط ذرات السلكيون مع ذرة الزرنيخ لزيادة الموصلية

بالمثل يمكن تنشيط بلورة السليكون بزيادة عدد الثقوب بها ، وذلك بأن نضيف إليها ثلاثة إلكترونات تكافؤ مثل الانديوم أو الجاليوم أو الألمنيوم فمثلا بإدخال ذرة الأنديوم في التشابك البلوري للسليكون نجد أنه ينقصها إلكترون واحد لتشترك بأربع روابط تساهمية وبذلك تحدث فجوة مرتبطة بذرة المجموعة الثالثة كما موضح في الشكل (5-5) .

هذا النوع من الشوائب ذات التكافؤ الثلاثي يسمى المتقبل (Acceptor) والسليكون المنشط بذرات المتقبل يسمى سليكون من نوع (P-type) لأن غالبية حاملات الشحنات هي عبارة عن ثقوب موجبة .

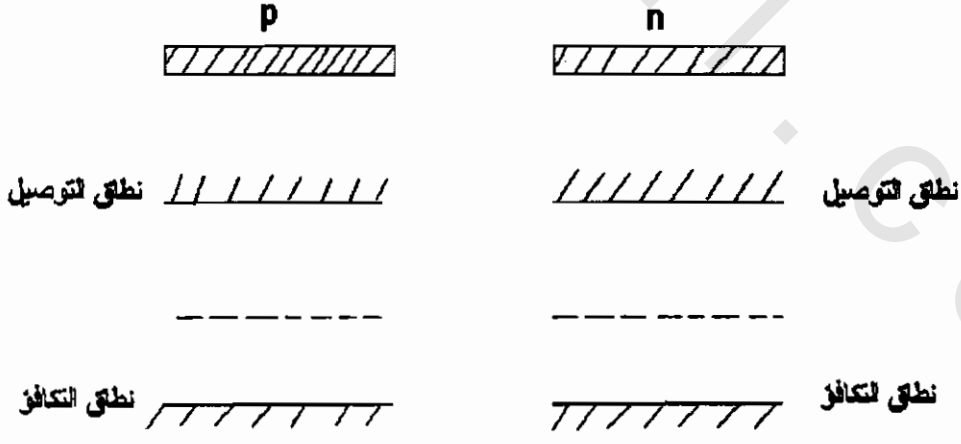


الشكـــل(5-5)

ارتبـــاط ذرات السليكـــون مـــع ذرة الانديـــوم

5-3-4 الوصلـــة الثنائيـــة (P - n Junction)

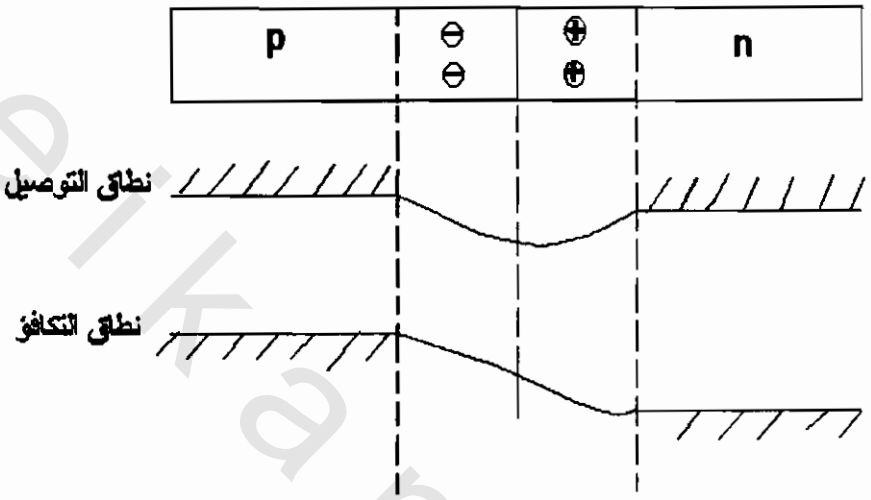
إن شبه الموصل المطعم بشوائب واهبة يملك عدد كبير من الإلكترونـــات في حزمة التوصيل عند درجة الحرارة العاديـــة ويعـــرف بـــالنوع الســـالب (n-type) ، أما شبه الموصل المطعم بشوائب قابلـــة (acceptors) فيعـــرف بالنوع الموجب (p-type) ، لنفرض أن قطعة من شبه الموصل معزول مـــن نوع (n) وأخرى من نوع (p) كما موضح في الشكل (5-6) أدناه .



الشكل (5-6)

الوصلة الثنائية بين النوعين السالب والموجب

فإذا تم توصيل بين القطعتين فإن الإلكترونات تنتقل من مناطق التركيز العالي (n-type) إلى مناطق التركيز الواطئ (p-type) ويحدث العكس بالنسبة للفجوات حيث تنتقل من مناطق التركيز العالي (p-type) إلى مناطق التركيز الواطئ (n-type) والشكل (5-7) ، أدناه يبين الرسم التخطيطي لحزمة الطاقة عند التوازن الحراري لفرق (p – n) :



الشكل (5-7)

الرسم التخطيطي لحزمة الطاقة عند التوازن الحراري

نتيجة لانتقال الإلكترونات والفجوات نلاحظ المادة نوع (P) تحمل شحنة سالبة بسيطة لاكتساب بعض الإلكترونات من المادة نوع (n) من جهة أخرى نجد أن المادة نوع (n) الموجودة في المنطقة تحصل على شحنة موجبة بسيطة نتيجة لفقدها بعض الإلكترونات .

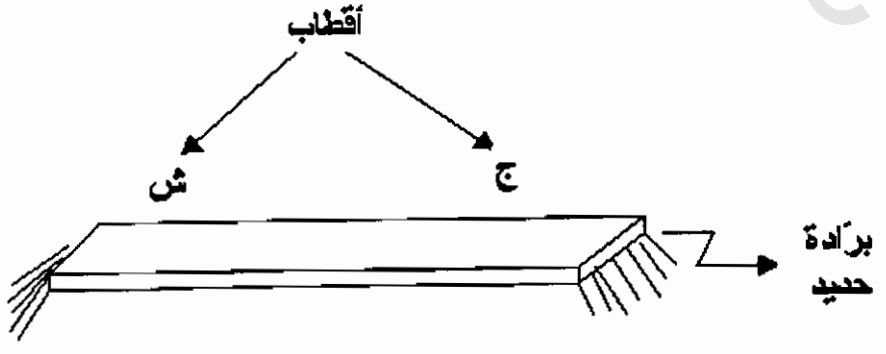
4.5 المغناطيس (Magnet)

أكتشف الإغريق في العصور القديمة نوعا من الأحجار التي عثروا عليها بالقرب من مدينة مغنسيا في آسيا الصغرى . حيث تمتاز هذه الأحجار بقدرتها على جذب أطراف الحديد . وهذا النوع من الأحجار هو عبارة عن نوع من الحديد الخام المسمّى بالمجناتيت أو " الحجر الممغنط " . كما أطلق على خاصية الجذب باسم المغناطيسية ، ويطلق على الفراغ الذي يظهر فيه الأثر المغناطيسي باسم المجال المغناطيسي . كما لوحظ بأننا إذا قمنا بحك قضيب فولاذي لمغناطيس طبيعي وباتجاه واحد فإن القضيب الفولاذي يكتسب خاصية الجذب ، أي أنه بالإمكان الحصول على مغناطيس اصطناعي من مغناطيس طبيعي .

5.5 الخواص المغناطيسية (Magnetic Properties)

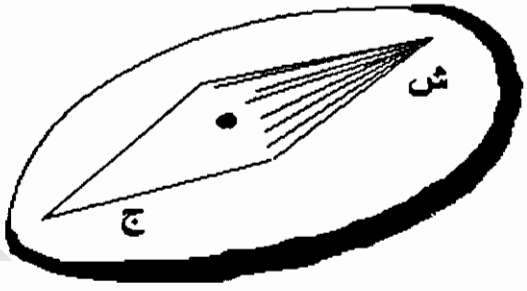
a) الخاصية الأولى :

إذا قمنا بنثر برّادة الحديد حول مغناطيس ، نلاحظ أن برّادة الحديد تتجمع بغزارة حول نهايتيه . تطلق على تلك النهايات التي تتمتع بأشد قوة جذب باسم القطبين لذلك يمكن أن نقول لكل مغناطيس قطبان يتمتعان بأشد قوة جذب .



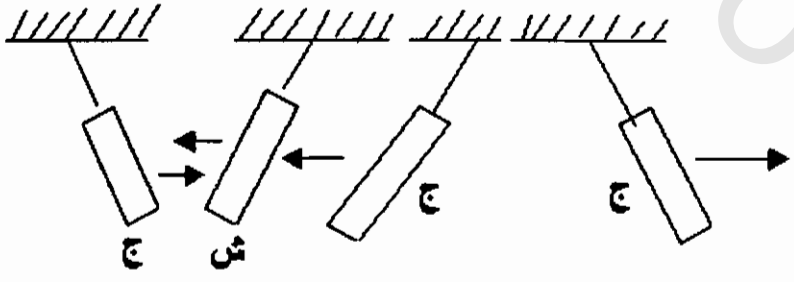
b) الخاصية الثانية :

إذا وضعت إبرة مغناطيسية حول حامل يسمح لها بالدوران نرى بأنها تقصد وضعية الشمال الجغرافي ، الجنوب الجغرافي . ونستدل من هذه الخاصية أن قطبي المغناطيس يتجهان أحدهما نحو الشمال الجغرافي فنسميه القطب الشمالي ، والآخر نحو قطب الجنوب الجغرافي فنسميه القطب الجنوبي .



c) الخاصية الثالثة :

إذا قرّب قطب شمالي المغناطيس من قطب شمالي لمغناطيس آخر(كلا المغناطيسين لهما حرية الحركة) نرى أن المغناطيسين يتدافعان ويبتعدان عن بعضهما ، كذلك إذا قرّب قطب جنوبي لإحداهما من قطب جنوبي آخر ، نراهما أيضا يتخذان نفس الوضعية السابقة أي يبتعدان عن بعضهما بينما إذا قربنا قطب شمالي لأحدهما من قطب جنوبي للآخر يحدث أن المغناطيسين يتجاذبان .



لذا بإمكاننا القول أن القطبان المتشابهان يتنافران والقطبان المختلفان يتجاذبان .

d) الخاصية الرابعة :

إذا كسرنـــا مغناطيس إلى نصفين ، نرى أن كل قسم من الأقسام أصبح لـــه قطب شمالي وقطب جنوبي ، أي أن كـــل قســـم أصـــبح يتمتـــــع بخـــواص مغناطيس كامل ، إذا تابعنا وقسمنا القسمين الناتجين كل منهما إلـــى قســـمين آخرين نحصل من جديد علـــى أقســـام جديـــدة لهـــا خـــواص المغنـــاطيس الـــكامل ، وهكذا يمكن متابعة هذا التقسيم حتى نصل إلى عناصر صغيرة جدا أي إلى ذرات الحديد التي لا تقبل التقسيم . وفي هذه الحالة يمكن التصور بأن الخواص المغناطيسية لهذه الذرة إنما هي ناشئة عن حركة الإلكترونات حـــول النواة التي يمكن أن تعتبره كمغناطيس صغير لـــه قطب شمالي وقطب جنوبي لذلـــك يمكن القول أنه لا يمكن الحصول على مغناطيس له قطب واحـــد وأن كل مغناطيس مهما صغر حجمه له قطبين شمالي وجنوبي .

6.5 خطوط المجال المغناطيسي (Magnetic Field Lines)

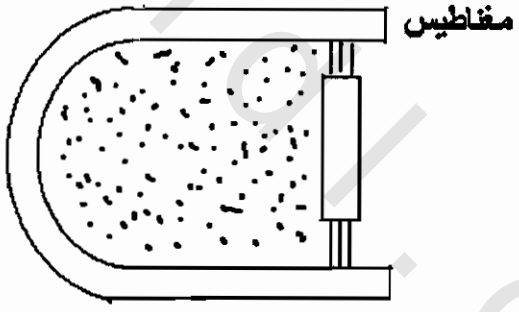
لو وضعنا مغناطيس فوق لوح من الزجاج ونثرنا ذرات من الحديد فـــوق ذلك اللوح ، نرى بأن تلك الذرات(بعد ضرب اللوح بضربات خفيفة) ستنتظم على شكل خطوط مغلقة تلتصق بكلا القطبين وتلتقي مع بعضها وقـــد أطلـــق على تلك الخطوط باسم خطوط المجال المغناطيسي (Magnetic Field) وقد أتفق على أن هذه الخطوط للمجـــال المغناطيسي تخرج من الـــقطب الشـــمالي وتدخل إلى القطب الجنوبي كما يوضح ذلك الشكل (5-8) .

7.5 المـــواد المغنـــاطيسيـــة

إن المغناطيس لا يجذب إليه جميـــع المواد في الطبيعة وإنما يجذب فقـــط المواد المسماة بالمواد الفرومغناطيسية وهي : الحديد , النيكـــل , الكوبالـــت ومن هذه المواد هـــناك قسم يحافظ على مغناطيسيته وقسم آخـــر لا يـــــحافظ عليها وإنما يفقد معظمها فورا . تسمى المواد التي تحافظ على مغناطيســـيتها باسم المواد القاسية . وتسمى المواد التي تفقد مغناطيسيتها باسم المواد اللينة .

8.5 النـاقليـــة المغناطيسية " النفاذية " (Permanence)

إذا وضعنا قطعة من الحديد اللين في مجـــال مغناطيســـي ، نلاحـــظ أن خطوط المجال المغناطيسي تمر عبر الحديد اللين وتتجنب قدر الإمكان المرور في الهواء ، أي أن نفاذية المواد الحديدية للخطوط المغناطيسية أكبر من نفاذية الهواء . يـــرمز للنفاذية بالرمز (μ) .



وأن قيمة نفاذية الهواء مقاربة لنفاذية الفراغ المطلق وتساوي تقريبا :

$$\mu_0 = 4\pi \ X \ 10^{-07} \ \frac{Henry}{meter}$$

وإن نسبة نفاذية بقية المواد إلى نفاذية الفراغ المطلق تعطـــي مـــا يســـمى النفاذية النسبية أي أن :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \text{.........................} (1-5)$$

حيـث أن :

μ_r : هي النفاذية النسبية .

μ : هي النفاذية المطلقة .

وتكون النفاذية النسبية لبعض المواد الاخرى المواد كما يلي :

للنحاس= 0.999

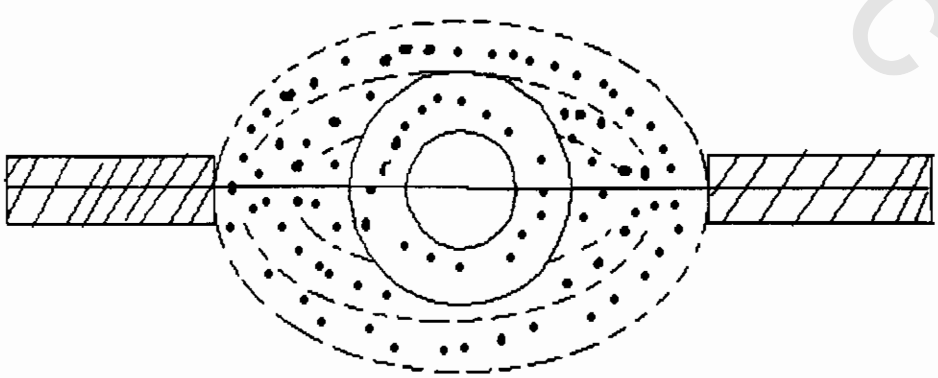
للماء = 0.999

الهواء = 1

الحديد = 5

الفراغ المطلق = 1

لو أعدنا التجربة السابقة بوضع حلقة من الحديد في المجال المغناطيسـي فإننا نلاحظ أن الخطوط تمر عبر الحديد في الحـلقة ، بينما في داخـل الحلقة تكاد تنعدم خطـوط المجال أي أن الحلقة تعزل المجـالات المغناطيسية وهذا ما يفيدنا كثيـرا فـي حمايـة أجهـزة القيـاس مـن المجـالات الأرضـية (مجال الأرض مثلاً) والتي قد تؤثر عليها .



obeikandl.com

9.5 النـــاقـــلات (Conductors)

يتم نقل التيار الكهربائي من أماكن توليده إلى مراكز الأحمال والاستهلاك بواسطة أسلاك ، ولما كانت هذه الأسلاك تقوم بنقل التيار الكهربائي من مكان لآخر فإنها تسمى بالناقلات . ومن أهـم الأنـواع الشـائعة الاستخدام في نقل القدرة الكهربائية بالنسبة للجهود العالية والمتوسطة هي :

1- الخطوط الهوائية .

2- القابلات الأرضية .

ومن أهم ميزات ناقلات القدرة الكهربائية من مختلفة الأنواع هي :

a- قابلية عالية للتوصيل الكهربائي .

b- تحمل قوة الشّد الميكانيكية العالية .

c- أن تكون لها مقاومة نوعية منخفضة .

d- تحمل الظروف الجوية المختلفة .

e- رخيصة الثمن نسبياً .

وتعتبـر الخطوط الهوائية أحد الوسائـل المهمة لنقل القدرة الكهربائية من مراكز الإنتاج إلى أماكن الاستهلاك ، وأهم العناصر المستخدمة في شـبكات النقل هي :

a) موصلات النحاس الأحمر

وهـو عبارة عن موصل من مـادة جيدة التـوصيل للكهرباء ويحتـوي على عدد الأسلاك المستـديرة متساويـة القطر والمجدولة معا لولبيا مكونـة قطر الموصل . ويعتبر النحاس الأحمـر المسـحوب مـن أفضـل أنـواع الموصلات استعمالا ويـمتاز هذا النوع بما يلي :

1- بقدرة عالية على تحمّل الشّد .

2- معامل تمدده أقل بكثير من النحاس الأحمر الطري .

obeikandi.com

3- ذو متانة عالية .

4- له مقاومة نوعية منخفضة .

5- له أفضل قابلية للتوصيل مقارنة بباقي المعادن وهي تعتمد على درجة نقاوته فكلما زادت النقاوة زادت قابلية التوصيل وقلت مساحة المقطع .

b) موصلات الألمنيوم (Aluminum Conductors)

يعتبر الألمنيوم من المعادن الجيدة التوصيل للكهرباء ويحتوي على أسلاك من الألمنيوم المسحوبة المستديرة متساوية القطر والمجدولة معا لولبيا مكونة قطر الموصل . ويمتاز هذا النوع من الموصلات بما يلي :

1- خفيف الوزن .

2- يعتبر ثاني المعادن قابلية للتوصيل بعد النحاس .

3- رخيص الثمن نسبيا .

4- عند الضغوط العالية يكون الفقد في الطبقة المضيئة(الكرونا) أقل .

c) الكرونا

هي ظاهرة تحدث بين أي خطين هوائيين يرتفع ضغطهما لدرجة تكفي للتأين عند سطحي الخط ، وإذا ارتفع الضغط أعلى من ذلك وفي ظروف جوية رطبة يحاط الخط بطبقة مضيئة تسمى بالكرونا وعادة ما يصحب الكرونا صوت أزيز ورائحة الأوزون .

وقد تم الإقلال من موصلات الألمنيوم كنوع من أنواع الموصلات في شبكات الخطوط الهوائية لعيوبها الآتية :

1- نقطة الانصهار منخفضة ، حيث يكون تأثير القصر عليه خطيرا جدا .

2- يحتاج إلى أذرع ذات مساحة كبيرة لأنه معرض إلى التأرجح .

3- لحامه يحتاج لعناية أكثر من أي معدن آخر .

d) موصلات الألمنيوم المقوي بالصلب (الفولاذ)

وهي عبارة عن أسلاك من الألمنيوم المسحوبة المستديرة متساوية القطر والمجدولة معا لولبياً على قلب من أسلاك الصلب المجلفن . ويستعمل هذا النوع من الموصلات عادة في خطوط النقل ذات الجهود العالية والفائقة ويستعمل قلب الصلب في هذا النوع لزيادة قوة تحمل الشّد لموصل الألمنيوم أما الغرض من استعمال الصلب المجلفن فهو لمنع حدوث عملية الصدأ والتآكل الكهروكيميائي .

e) القابلات الأرضية

تستخدم الكابلات الكهربائية لنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية من محطات التوليد إلى محطات التحويل ومنها للمستهلكين . وفي أغلب الأحيان تستخدم الخطوط الهوائية لنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية ، ولكن في المناطق السكنية يتوجب استخدام القابلات الكهربائية والتي توضع في باطن الأرض لتفادي الأخطار التي قد تنتج عن وجود الخطوط الهوائية بجوار المساكن على الرغم من كون تكاليف القابلات أعلى بكثير من تكاليف الخطوط الهوائية . وتستخدم القابلات الأرضية عادة في الجهود المتوسطة والمنخفضة حيث تم خلال السنوات الأخيرة تحقيق تقدم كبير في صناعة القابلات والتي أدت إلى تصنيع قابلات تعمل على جهد مرتفع جدا تصل إلى حد (500 kV) .

f) مكونات القابلات

تتكون جميع القابلات في الغالب من المكونات الرئيسية التالية :

1- الموصلات .

2 - المواد العازلة .

3 - مواد التغليف .

4 - الفرش .

5 - مواد التدريع .

6 - الغلاف الواقي .

(1) الموصلات :

تصنع الموصلات عادة من النحاس أو الألمنيوم النقيّان ويعتبر النحـــاس من أجود أنـــواع المواد من حيـــث قابليته للتوصيل الكهربائي وكذلك مقاومته للتآكل وإمكانية تشكيله بسهولة . أما الألمنيوم فإن قابليته للتوصيل الكهربـــائي أقل من النحاس ويعتبر الألمنيوم أخف وزنا من النحاس ، حيث تبلغ سعة حمل التيار لموصلات الألمنيـــوم حوالي 80% من سعة حمل التيـــار لموصـــلات النحاس ذات الحجم نفسه .

(2) المواد العازلة :

من الشروط الواجب توفرها في عوازل القابلات أنه يـــتم عـــادة تقســـيم القابلات نسبة لنوع العازل المستعمل ، وعادةً أنواع العوازل في الكـــابلات لا بد أن يتحقق فيها ما يلي :

a- تمتلك خاصية المقاومة النوعية العالية .

b- تمتلك خاصية ارتفاع جهد الكسر للعازل .

c- تكون قابلة لامتصاص الرطوبة الجوية أو من الوسط المحيط .

d-تكون قادرة على تحمل درجات الحرارة العالية دون حدوث تلف كبير فيها.

e- غير قابلة للإشعال .

f- لا تتأثر بالأحماض والقلويات .

وحيث أنه لا يمكن عمليا الحصـــول علـــى عـــازل يحمـــل جميـــع هـــذه المواصفات لذلك فإن اختيار العازل المناسب سيعتمد على الغرض المطلـــوب لأجله العازل المعني و كذلك على كمية العازل المسموح بها .

ومن أهم المواد العازلة للقابلات هي :

1- المطـــاط (Rubber) .

2- متعدد الأثيلين (البولي أثيلين Polyethylene) .

3-كلوريد عديد الفنيل(كلوريد البولي فينيل Polyvinyl Chloride P.V.C.).

4- المواد الليفية مثل الورق .

5- القار الأحمر المقسّى بالكبريت (Vulcanized Bitumen) .

6- خيوط الحرير – القطن المطلية بالمينا (Enameled Silk – Cotton) .

7- الجوتابارشا وهو نوع من الصمغ الهندي (Gotta – Parcha) .

8- مادة الـ X.L.T.E. .

1) المطاط (Rubber)

يعتبر المطاط خير مادة عازلة ولكن المشكلة تكمن في أن الكابلات المغلفة بالمطاط لا تتحمل الصدمات أو الضغوط الميكانيكية ....الخ وبالتالي يجب وضع هذه الألواح من الكابلات في أنابيب لحمايتها ولذلك تستخدم أنواع أخرى من المطاط كمادة عازلة مثل المطاط السيكلوني والذي يمتاز بزيادة مقاومته للصدمات والضغوط الميكانيكية وكذلك قيمة إجهادات الجهود المختلفة .

2) البولي أثيلين (P.E.)

وهو مركب صناعي يمتاز بأن له قوة عزل عالية جدا ويكون عمره طويل في الاستعمال وهو صلب مع قليل من المرونة ، ويعتبر ممتاز من الناحية الكهربائية و الميكانيكية وله جهد كسر قدره (400 kV /cm) ، وهو غير قابل للالتهاب إلا إذا تعرض للهب مستمر فإنه يحترق ثم يتوقف احتراقه بعد ذلك بسنتيمترات قليلة ولهذه الخواص فهو يستعمل بكثرة في العوازل .

3) كلوريد البولي فينيل (P.V.C.)

ويستعمل أيضا بكثرة في عمليات العزل لأنه يمتاز بارتفاع مقاومته النوعية وجودة جهد العزل والتحمل الميكانيكي وتزداد قوة صلابته عند ارتفاع درجة الحرارة بمعدلات عالية أما الرطوبة والحوامض والقلويات فلا تؤثر فيه .

4) الورق

وهو المادة العازلة الرئيسية في القابلات وهو ذو خواص كهربائية جيدة في العزل خاصة عند كونه جافاً ، وتستخدم فيه الزيوت في عملية تشبيع أو إستشراب الورق العازل ومن خواصه أيضاً قلة قابليته لامتصاص الماء وتجرى عمليات لف شرائط الورق العازل حول الموصلات بكل دقة بحيث تكون خالية من التجعدات وبالتالي فإن شرائط الورق الملفوفة حول الموصلات لا تتأثر بعمليات ثني الكابل أثناء فرزه ووضعه في باطن الأرض .

5) القار الأحمر المقسّى بالكبريت

وهو أرخص كثيرا من المطاط ويقاوم التآكل الناتج عن الغازات والأبخرة والماء وله مقاومة نوعية (10 أوم / سم) ولا يتأثر بالرطوبة ومن عيوبه عدم إمكانية مقاومة ارتفاع درجة حرارته .

6) الحرير والقطن المغطى بالمنيا

هذه العوازل تستعمل في عزل الموصلات المستخدمة في الضغوط المنخفضة ويغطي الموصل أما بطبقة أو بطبقتين من القطن أو الحرير وهذه تغطي الأسلاك المستخدمة في الأجهزة وملفات المحركات .

7) الصمغ الهندي (الجوتا بارشا)

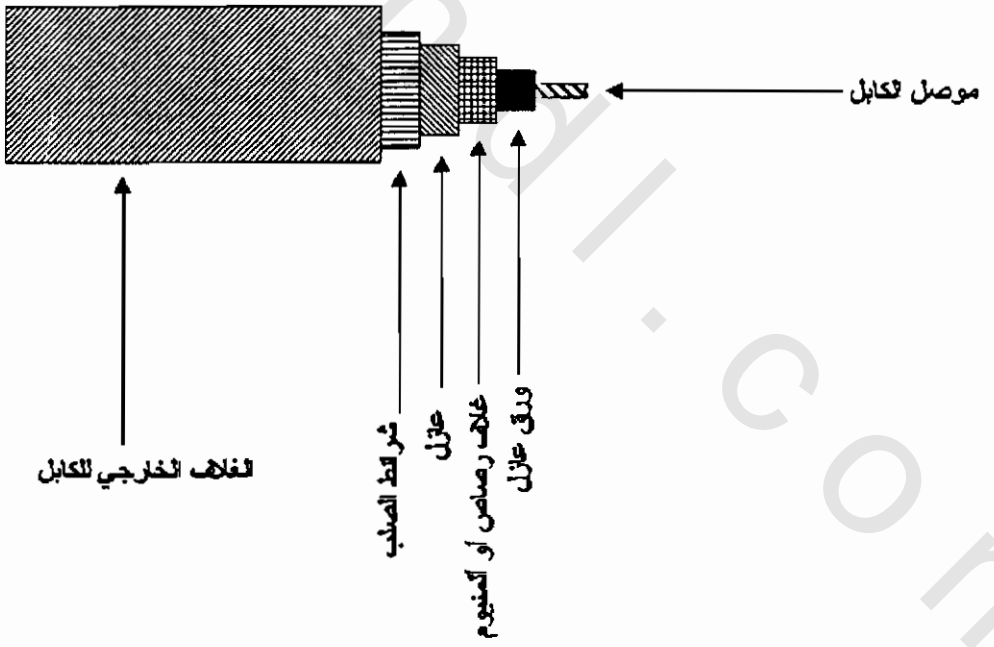
وهو يشبه إلى حد كبير المطاط إلاّ أنه يصبح هشاً عند درجة حرارة أعلى من $66\ c^{\circ}$ إن المقاومة النوعية تتراوح من ($2.5\ \Omega$ $2.5\ \Omega$ $10 * 2.5$) ويصبح هشاً لو تعرّض للهواء ، وهو لا يمتص الرطوبة حيث لا يمكنه مقاومة حتى الضغط المتوسط وتحتاج الكابلات من هذا النوع إلى مهارة خاصة في لحامها .

8) مادة الـ (X-L-B-E)

تعتبر هذه المادة من المواد العازلة والجيدة والتي تمتاز بعدم تأثرها بالماء وكذلك بزيـــادة ارتفاع مقاومتها الحرارية ومرونتها الـــعالية وكذلـــك تمتـــاز بمقاومتها للصدمات والضغوط الميكانيكية .

(3) مـــواد التغليـــف

في العادة يتم تغليف القابلات باستخدام مادة الرصاص أو مادة الألمنيـــوم المسطح باعتبار أن هذه المواد مقاومة للرطوبة ، وعند تغليف الكابلات يجـــب التأكد من خلو الغلاف من أية مسامات وخاصة القابلات الزيتية وعـــادة مـــا يستخدم الألمنيوم لخفة وزنه ولزيـــادة مرونة الكابل . كما يستخدم الغـــــلاف المعدني كحـــماية للقابل حيث يستخدم كتأريض للقابل أي أن جهـــده صـــفرا بالنسبة لفرق الجهد بالمواصلات التي تنسب إليه .



الشكـــل (5-8)

مـــواد التغليـــف للكابـــل

(4) الفــرش :

وهي الغلاف الواقي أو الألمنيوم والفرش هامة نتيجة تــأثير الرصــاص بالنسبة لتــأثرها بــالتفاعلات الكهروكيميائية والمواد العضوية ، وهي عبــارة عن طبقة من شريط القطن أو الورق وقبل عملية التغطية بــه يجــب تخفيفــه وإشباعه بمادة غير قابلة لامتصاص الرطوبة والمواد المستعملة لمنع الرطوبة لها كما تمنع التفاعلات الكيميائية مع الغطاء المعدني أو غطاء التسليح .

وضع الغطاء الواقي :

يتم وضع درع للقابلات بواسطة لفها بطبقتين مــن الشــريط الصــلب أو باستخدام عدة طبقات من أسلاك الصلب وتوضع بعض المواد الفاصــلة بــين الغلاف وصلب التدريع وهذه المواد الفاصلة تتكون مــن طبقــات الــورق أو الخيش .

الغطاء الواقي :

يتم تغطية القابلات بمادة واقية من الصدأ وكان يستخدم لهذا الغرض الخيش المشبع بالقطران وذلك بلف الكابل بشريط من هذا الخيش ولكن حاليا تســتخدم مادة (P.V.C.) كغطاء واقي للقابلات .

10.5 ضروريات القابلات

إن من أهم الضروريات التي يجب أن تتوفر في أي قابل هي :

a) يجب أن يكون النحاس أو الألمنيوم المستعمل بحجــم مناســب وأن يكــون الكابل مناسب للتيار المار فيه نتيجة التحميل الذي ينتج عنــه ارتفــاع درجــة الحرارة .

b) يجب أن يكون للقابل سمك عزل مناسب وأن يمتلك درجة عالية من الأمان ويكون معتمد عند الضغط المسلط عليه .

c) يجب أن تكون جميع المواد المستعملة في صناعة الكابلات خاملة كيميائيا وثابتة طبيعيا في أي مكان توضع فيه .

d) يجب أن يجهز القابل بحماية ميكانيكية تمكنه من مقاومة وضعه في أي مكان .

11.5 المواد العازلة لخطوط النقل (Insulators)

1.11.5 الخزف (Ceramic)

كان الخزف المادة المتعارف عليها في العزل في فترة العشرين سنة الماضية ، وكذلك الزجاج إلا أن الخزف لا زال هو المادة المستعملة لصناعة العوازل الكبيرة جدا ولقد تم تصنيع نماذج بطول (17) متر . من الناحية الميكانيكية والكهربائية فإن العوازل المصنوعة من الخزف لا تتأثر كثيرا بالعوامل الطبيعية ، وكذلك في حالة حدوث الشرر أو الوميض الكهربائي وذلك طول فترة حياتها الافتراضية ، حيث أن الخزف لا يتأثر بالحرارة إلاّ إذا قاربت من 1400c° ، أما في حالة وجود مثل الشحوم على السطح الخزفي فقد تسبب في الشرارة الكهربائية وبالتالي ينتج عنها تآكل سطحي " تعرية " ورغم أن هذا الأمر هو بعيد الاحتمال إلا أنه إذا ما حصل فسيكون أمرا خطيرا جدا خاصة إذا ما كانت العوازل معبأة بالغاز .

2.11.5 الزجاج (Glass)

إن الزجاج بحكم كون درجة حرارة ذوبانيته التي تساوي 800c° فإن هذا يجعله عرضة للتلف في حالة حدوث عملية الشرر الكهربائي ، خاصة إذا وجد تآكل سطحي كالذي يحصل عند أماكن مسامير التثبيت وحيث ما تجمعت الأبخرة ، أو إذا كان التلوث الجوي للعوازل كبير . إن الزجاج يتحمل قوة شدّ

أكبر من الخزف وهذا يعتمد على طريقة التصنيع إذ لوحظ أن وجود شوائب في الزجاج يجعله سهل الكسر وتسمى هذه العملية بالتركيز الأيوني ولكن هناك تقريرات تفيد التغلب عليه بتصنيع مواد عالية المقاومة للشّد .

3.11.5 عوازل البوليمر (Polymer)

هذه النوعية من العوازل تمتاز بخفة الوزن وجمال المظهر وكذلك عدم تجميع المياه عليها بسهولة ، فهي صالحة للأماكن عالية التلوث ، وهذه النوعية من العوازل عادة ما يتم تصنيعها من الألياف الزجاجية المخلوطة بمادة لاصقة ويتم طلائها بمادة البوليمر لتوفير الحماية . ومن عيوب هذه النوعية أن أي ضعف في الوصلات أو بين أسطح الغطاء والألياف الزجاجية قد يسمح بتسرب المياه إلى الداخل وبالتالي حدوث ما يسمى بالتأين أو (التفاعل الأيوني) وكذلك إنتاج بعض الأحماض التي تهاجم الألياف الزجاجية . أن سطح هذه العوازل يتأثر بالأشعة فوق البنفسجية والشرارة الكهربائية إذا ما حدثت ، ولكن قد تم التغلب على هذه المشاكل بطرق حديثة إذا تم استعمال مواد لينة لتجنب مشكلة التكسير التي قد تحدث للبوليمر ، ولقد تم تصنيع عدة عوازل من مواد مختلفة لعل أهمها(رباعي فلورو متعدد الأثيلين PTFE أو التفلون) وهو مادة مصنعة من البوليمر والأثيلين وكذلك الـ (Epr) وهي مادة مصنعة من الأثيلين والابروبين والمطاط وأهم ميزة لهذه العوازل هي عدم قدرة المياه على التجمع عليها .

12.5 التلـوث (Pollution)

يعتبر التلوث من أكثر الأخطار لحدوث الوميض الكهربائي على العوازل الكهربائية ويؤدي إلى فشل مهام العوازل . إن مشكلة الشرر الكهربائي (Flash Over) على العوازل الكهربائية هي مشكلة قديمة جدا حيث أنه في العام 1870 ظهرت هذه المشكلة على عوازل خطوط النقل

وتم التغلب عليها باختراع عوازل مغمورة بالزيت ، نتيجة لارتفاع فرق الجهد المستعمل لنقل الكهرباء ، حيث أصبح مهم جدا التركيز والبحث لوضع حلول لهذه المشكلة ولكن لم يبدأ ذلك إلا في بداية الثلاثينات من هذا القرن وذلك عندما واجه الإنجليز هذه المشكلة في شبكة (132kV) حيث قاموا بأبحاث معملية نتج عنها وضع نماذج حقيقية في منطقة كرايدون الصناعية والتي توجد فيها محطة لتوليد الطاقة ، يستعمل فيها الفحم كوقود وبالتالي فهي منطقة تلوث عالي وهناك توصلوا إلى تطوير عوازل تثبيت بالمسمار وصالحة للاستعمال ضد الضباب ، أما في الأجزاء الأخرى من أوروبا فقد وجدت نفس المشاكل في محطة روها وهي منطقة صناعية لإنتاج الفحم وتم إجراء بعض الاختبارات ، حيث قاموا بتلويث بعض العوازل بمواد طبيعية مثل كلوريد الصوديوم وبعض أنواع الرمال حيث تم تبليلها بالبخار ورشها على العوازل ثم تحميل تلك العوازل بعد أن تصل درجة التوصيل إلى أعلى حد في محلول كلوريد الصوديوم .

13.5 طلاء العوازل

هناك اتجاه يختلف اختلافا كليا عن الطرق السابقة للحماية من عملية الشرر الكهربائي وذلك باستعمال عوازل خزفية مع طلاء سطحها بمادة شبه موصلة ولمّاعة ، وهذه الطريقة تشمل على طلاء السطح الخارجي بالكامل للعازل بمادة لماعّة يتم خلطها ببعض أكاسيد المعادن لتجعلها عالية المقاومة على الطبقة السطحية . وهذه الميزة تجعل جزء بسيط من التيار ينفذ خلال شبه الموصل في جميع الأحوال وبالتالي رفع درجة حرارة سطح العازل مما يجعل المياه التي قد تتجمع تتبخر بسرعة .

وكما لكل طريقة عيوب فإن هذه الطريقة لا تخلوا من بعض العيوب ، مثل تشقق الطبقة اللّماعة ويمكن أن تحصل تلك خصوصا عندما يكون هناك سريان

تيار بين الماء والمادة اللّماعة . وأخيراً في المناطق العالية التلوث ، فإن بعض معطيات التوزيع يجب احتوائها داخل مباني رغم ضرورة تنظيف العوازل الخارجة عن المبنى .

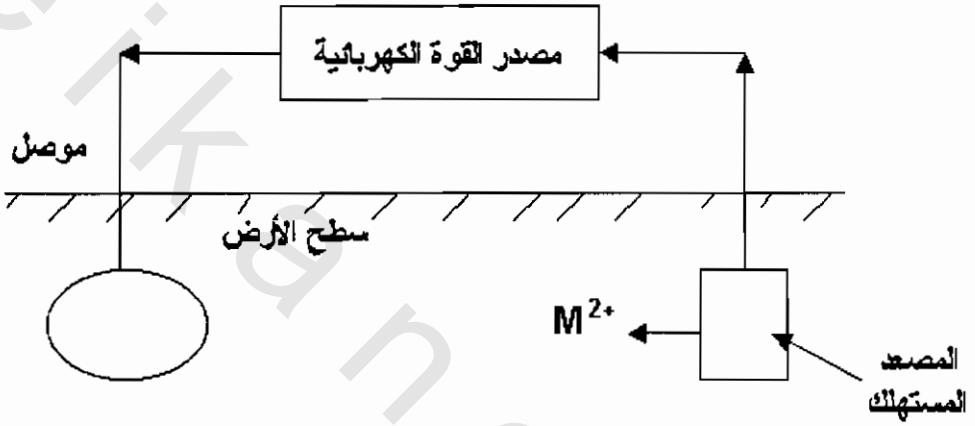
14.5 حماية الأجزاء المعدنية من التآكل

إن من المعايير المهمة التي يقاس بها تقدّم الدول الآن هي مقدار الاهتمام الذي توليه هذه الدولة أو تلك ببرامج حماية إنشاءاتها المعدنية والمتابعة الجيدة والكشف الدوري للمعدات لأن الفقد والخسارة نتيجة عدم حماية تلك المنشآت والمعدات قد يصل إلى ملايين الدولارات سواء في الدول المتقدمة أو النامية . إن ترشيد استخدام المعدات أصبح حاليا أهم من تصنيع المعدة بحد ذاته لأن حماية المعدن من التآكل وتجنب حوادث الانهيارات الميكانيكية وتلوث أوساط البيئة بالمواد المشعة والمواد الكيميائية الخطرة .

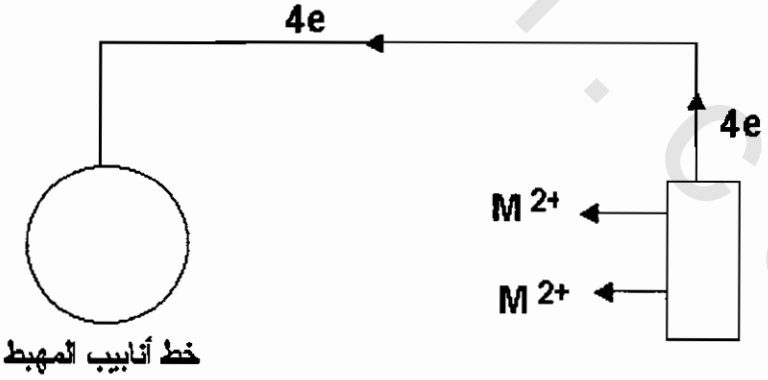
إن التآكل هو الفعل التدميري للإنشاءات نتيجة لتفاعل موادها مع الوسط البيئي مما ينجم عنه فقدان وتناقص في الخواص المصممة والمصنعة لهذه المواد . ويأخذ التآكل أشكالا متعددة وتتفاوت درجات حدوثه من وسط إلى آخر ومن معدن إلى آخر لذا كان موضوع حماية المعادن من التآكل هو موضع اهتمام ودراسة لكثير من المهتمين بقضايا المواد.

ويشترط في تطبيق الحماية أن تكون اقتصادية الاستخدام وآمنة التطبيق فأهم هذه الطرق هو الـــمفاضلة بين المواد الهندسية بما يتماشى مع أوساطها التآكلية وتأخذ الحماية مسلك آخر وذلك عن طريق التحكم في درجة التآكل للأوساط بالإضافة إلى استعمال مانعات التآكل الكيميائية أو تغيير الظروف البيئية من حرارة وضغط وتركيز أو عزل الوسط الآكل عن المعـــدن باستخـــدام

الطلاء لقطع دائرة التآكل ، التي تستلزم وجود المانع كموصل أيوني ووجود المصعد لعملية الأكسدة والمهبط لعملية اختزال الأيونات كما سبق شرحه في الباب الرابع يمثل جانبا وقائيا واسع التطبيق . وقد يشترط الطلاء مع ما يعرف بالحماية الكهربائية أو المهبطية والتي تستخدم لحماية الإنشاءات المعدنية وتتم تلك الحماية باستعمال معادن وسبائك أخرى تعمل كمصاعد تضحية في سبيل الإنشاءات المعدنية المطلوب حمايتها وهذه الطريقة قد تتم باتصال بمصعد يضحى به بفعل ذاتي نتيجة لفرق الجهد الكهروكيميائي عن المادة المطلوب حمايتها كما هو واضح في الشكلين (5-9) والشكل(5-10) .



الشكل (5-9) دائرة وتفاعلات الحماية المهبطية من التآكل بإستخدام الدفع الكهربائي



الشكل (5-10) دائرة وتفاعلات الحماية المهبطية من التآكل بإستخدام أقطاب التضحية

15.5 كيفية اختيار المواد الموصلة والعازلة
(How To Choose Conductors and Non – Conductors)

في هذا البند سوف نقوم بعرض ثلاث حالات لاختيار المادة المناسبة لتطبيقات مختلفة تبين لنا الحلول المناسبة لكيفية اختيار المواد الموصلة والعازلة .

الحالة الأولى :

اختيار مادة الجسم الخارجي لجهاز التلفاز حيث يؤخذ بنظر الاعتبار في هذه الحالة عدة عوامل في اختيار المادة المناسبة ، ولكثرة الإقبال على المنتج فهو من الأشياء واسعة الانتشار لدرجة كبيرة جدا . ولذا لا بد و أن تكون المادة قابلة للتشكيل بالطرق المعروفة وتكلفتها كذلك بحدود مقبولة ، إضافة إلى ذلك لا بد أن تكون المادة المناسبة ذات مقاومة ميكانيكية عالية بما فيه الكفاية للمحافظة على الأجزاء الإلكترونية الداخلية في جهاز التلفاز .

مما لاشك فيه أن هناك العديد من المواد الفلزية المناسبة والتي يمكن تشكيلها بالطرق الاعتيادية ، ولكن يستبعد منها ما هو غالي الكلفة وأيضا يمكن استخدام البلاستيك وتشكيله من خلال عدة عمليات مختلفة وعلى هذا الأساس فإن المصمم مطالب بأن يختار ما بين الفولاذ والألمنيوم والأنواع المختلفة من البلاستك . ولا بد أن يأخذ المصمم بنظر الاعتبار كذلك نوع الأجهزة المطلوبة لتشكيل ذلك الهيكل وتصنيع الأبعاد .

يضاف إلى ما ذكر أن هناك عوامل خاصة يجب مراعاتها جيدا وهي أن تكون مادة الجزء الخارجي لجهاز التلفاز غير قابلة لتوصيل التيار الكهربائي وتوفير تبريد وتهوية للأجزاء الإلكترونية الداخلية حتى لا ترتفع درجة حرارتها . كذلك يجب ألا تؤثر الخواص المغناطيسية للمادة المستخدمة على

الـــدوائر الكهربائية الحساسة في جهاز التلفاز كما يجـــب أن لا تـــؤثر مـــادة الهيكل الخارجي لجهاز التلفاز على الصوت الصـــادر من الجهاز .

ويجب أن يحدد المصمم أي من تلك الخواص ذات التأثير الأساسي علـــى جهاز التلفاز وعلى كفاءة تشغيله ، وقد تكون المغناطيسية هـــي أهـــم تلـــك الخواص بالإضافة إلى مشاكل التصنيع ، وعليه يتم استبعاد العديد من المـــواد وسيكون التركيـــز على مادة أو مادتيـــن ، وهنا يتضح أن المادة المختارة لن تكون هي أقـــل المواد تكلفة بـــل أنسبها وأكثـــرها ملائمة لظـــروف العمـــل وحاجة السوق .

الحالة الثانية :

إذا كان المطلوب اختيار عازل حراري ، فسيتم استبعاد المواد الفلزية أولا حيث أن معامل توصيلها الكهربائي هو عالي جدا بالمقارنة بـــالمواد الأخـــرى مثل البلاستيك ومواد السيراميك ، وعند المقارنة بين الســـيراميك والبلاســـتيك نجد أن السيراميك هو المادة الأكثر شـــيوعا واســـتخداما . أمـــــا إذا كـــــان المطلوب عازل كهربائي فيفضل استخدام أي بوليمر وهناك العديد منها ويـــتم اختيار البوليمرات في هذه الحالة لأنها تتمتع بخواص ميكانيكية جيدة إضـــافة إلى خواصها الممتازة في العزل الكهربائي .

ويمكن أن تؤثر حالة المادة في كيفية الاستخدام . فمثلا يســـتعمل أكســـيد المغنيسيوم أو المغنيسيا في العزل الحراري ، ويعتمد معامل العزل الحـــراري له على حالته فعندما يكون على صورة مسحوق ، فيتراوح معامل التوصيل له $(0.3 - 0.4 \frac{Btu}{hr.ft.F^{\circ}})$ ، ولكن عندما يكون على صورة طـــوب فـــإن قيمـــة معامل التوصيل قد تصل إلى 27 .

الحالة الثالثة :

اختيار مادة للموصلات الكهربائية ، إن الخاصية الأساسية المطلوب توفرها في هذه الحالة هي معامل توصيل كهربائي جيد ، وبالنظر إلى الأنواع المختلفة من المواد(مواد فلزية – بلاستيك – مواد سيراميكية) ، فإن الاختبار الأول والأوحد لتوصيل التيار الكهربائي لن يكون إلا للفلزات لما لها من خاصية توصيل جيدة للتيار الكهربائي مقارنة مع بقية أنواع المواد الأخرى .

وبطبيعة الحال ، فإن بعض الفلزات تعتبر أفضل نسبيا في التوصيل الكهربائي من البعض الآخر . ويوضح الجدول (5-1) المقاومة الكهربائية لعدد من الفلزات المشهورة والتي يمكن تشكيلها على صورة أسلاك أو شرائح (حيث أن الموصلات الكهربائية غالبا ما تكون بهيئة أسلاك أو شرائح حتى تلائم الهدف المطلوب) . من المعروف أن الفلزات غير النقية وكذلك السبائك حتى تلك الحاوية على نسبة منخفضة من المعادن هي ذات مقاومة عالية لتوصيل التيار الكهربائي وذلك بالمقارنة مع الفلزات النقية أو الفلز لوحده .

جـدول (5 - 1)

المادة	الكثافة كجم/م^3	المقاومة الكهربائية $\frac{ohm}{m} x10^{-03}$	معامل التوصيل النسبي (للنحاس هو 100%)	المقاومة في الكثافة $\frac{ohmkg}{m^2} x10^{-03}$	المساحة السطحية المكافئة لمقاومة 100 ملم^2 من النحاس	وزن موصل مكافئ لوحدة طول من النحاس
نحاس	8900	1.67	100	15.0	100	1.00
نحاس أصفر	8520	6.33	26	53.8	381	3.59
سبيكة مونيل	8800	48.000	3	422	3333	28.10
نيكل	8900	6.84	24	60.9	410	4.06
حديد	7870	9.71	17	76.4	581	5.09
فولاذ	7930	70.00	2.4	555	4166	37.00

رصاص	11340	20.66	8	234	1237	15.60
خارصين	7140	5.91	28	42.2	354	2.81
ألمنيوم	2700	2.65	63	716	159	0.48
مغنيسيوم	2800	5.0	33	14	303	0.93
سبائك ألمنيوم	1740	4.45	38	7.74	266	0.52
ذهب	19300	2.42	69	46.7	145	3.11
فضة	10500	1.62	103	17	97	1.13
صوديوم	970	4.50	37	4.37	269	0.29
كربون	2300	1375	0.12	3.63	82335	211.00

يوضح الجدول (5-2) مقارنة بين عدد من الخواص لكل من الحديد والفولاذ المقاوم للصدأ والألمنيوم بسبائكه وسبائك النحاس (النحاس الأصفر أو المونيل) ، ويظهر من الجدول أن الفلز النقي هو ذو معامل توصيل كهربائي أفضل من أي سبيكة فلز ، ونتيجة لذلك فإن الفلز غير النقي يكون خيرا من السبيكة وفي أسوأ الحالات يتم اختيار إحدى سبائك ذلك الفلز منخفضة المحتويات لذلك الغرض .

ولاختيار فلز كموصل للتيار الكهربائي ، وبالنظر إلى الجدول(5-2) نجد أن الفضة تتفوق على النحاس في خاصية التوصيل الكهربائي ، لكن وعلى الرغم من ذلك فإن جميع الاختيارات تتجه أما إلى النحاس أو الألمنيوم وذلك للأسباب التالية :

1- الفرق بين معامل التوصيل الكهربائي للفضة وفلزي النحاس والألمنيوم فارق طفيف .
2- الفضة أغلى في التكلفة كثيرا مقارنة بالنحاس أو الألمنيوم .
3- الفضة نادرة التوافر سواء في الطبيعة كخام أو في الأسواق المحلية أو العالمية بينما فلزا النحاس والألمنيوم أكثر توافرا وإنتاجا .

وبهذا يبقى الاختيار محصورا بين فلزي النحاس والألمنيوم ، وكان النحاس هو المفضل في السابق والمسيطر الرئيسي في سوق الموصلات الكهربائية ، ولكن بدأ الألمنيوم يظهر ويأخذ دورا جيدا في الاستخدام ويحل جزئيا محل النحاس في بعض تطبيقات التوصيلات الكهربائية . حيث يتوقف الاختيار بين هذين الفلزين على طبيعة الاستخدام وعلى الجزء الذي سيستخدم الموصل فيه وسنأخذ ثلاثة أمثلة لتوضيح هذة المسالة ، المكائن الكهربائية ، الخطوط العلوية للنقل ، والتوصيلات المنزلية . وتتدخل عوامل التصميم والتشكيل والخواص الميكانيكية في اختيار نوع الفلز المناسب وفيما يلي نتناول كل حالة من الحالات أعلاه على حدة :

a) المكائن الكهربائية

في معظم المكائن الكهربائية أو المستعملة للتيار الكهربائي يكون المكان المخصص للأسلاك والتوصيلات الكهربائية في الغالب صغيرا ومحدودا ولهذا ، يفضل اختيار أسلاك ذات أقل مقاومة لوحدة المساحة السطحية وتبعا لهذا فإن الفضة هي الأفضل يليها بدرجة أقل النحاس كما مبين في جدول(5-1) ولكي تعطي الأسلاك المصنوعة من الألمنيوم قيمة المقاومة نفسها فإن مساحتها السطحية تزيد بحوالي 50% ، مقارنة بأسلاك النحاس ولذا فإنه قياسا إلى وحدة الحجم وهو العامل الأساسي في الاختيار في المكائن الكهربائية تكون الأفضلية للنحاس .

b) الخطوط العلوية لنقل الطاقة الكهربائية

لن يكون في هذه الحالة عامل قلة المساحة السطحية أو وحدة الحجم هو العامل الأساسي بالنسبة لأسلاك الخطوط العلوية لنقل الطاقة الكهربائية حيث يتوفر الفراغ الكافي لأي حجم من الأسلاك ، ويكون عامل الأساس في الاختيار عندئذ هو الموصل ذو قوة التوصيل الأعلى لكل وحدة وزن ، أي

الفلز الذي يوصل التيار الكهربائي مع أقل فقد في الطاقة . وبالنظر إلى ذلك العامل في جدول(5-1) ، فإن فلز الألمنيوم أفضل من النحاس ويفوقه مرتين .

وإذا أخذ بنظر الاعتبار معامل التوصيل فقط ، فإن الصوديوم هو أفضل العناصر مجتمعة ولكن الصوديوم يستبعد نظرا لأنه سريع الانفجار والاشتعال عند تلامسه مع الماء . ويمكن التفكير مستقبلا في استخدام الصوديوم كعنصر موصل وذلك بوضعه داخل غلاف ، ومثال ذلك الموصل عندما يتم استخدامه سيكون أفضل من النحاس بأربعة أضعاف وبضعفين عن الألمنيوم .

وعلى الرغم من تفوقه بمرتين على النحاس في التوصيل الكهربائي لوحدة الوزن ، فإن استخدام الألمنيوم مازال محدوداً وذلك لأن المادة المستخدمة في صناعة الخطوط العلوية لنقل التيار الكهربائي يتم تثبيتها بين نقطتين .

ومن المفضل أن تكون المسافة بين تلك النقطتين أكبر ما يمكن أي يكون طول الأسلاك أكبر ما يكون ، وذلك لكي يتم تشكيل تلك الأسلاك بالأطوال المطلوبة ، لابد أن يكون جهد خضوعها عالي وبالنظر إلى جهود خضوع الفلزات المختلفة نجد أن جهد خضوع النحاس يبلغ أكثر من ضعف جهد خضوع الألمنيوم ، وبالنظر في الخواص الميكانيكية كذلك الكهربائية أي التوصيل الكهربائي لكل وحدة خاصية ميكانيكية يتضح أن النحاس هو أفضل قليلا من الألمنيوم ولكن يمكن التغلب على نقطة الضعف هذه باستخدام الفولاذ كقضبان للمساعدة مع أسلاك الألمنيوم .

جدول (5 - 2)خواص بعض المواد الهندسية

نوع المادة	الكثافة النوعية	معامل المرونة $\times 10^5$ كجم/سم^2	مقاومة الشد $\times 10^2$ كجم / سم^2	معامل التوصيل الحراري سعر.سم/سم^2.ثانية.م°	معامل التمدد الحراري $\times 10^{-6}$ (سم / سم . م°)	المقاومة الكهربائية أوم . سم عند درجة حرارة 20 م°
الفلزات والسبائك :						
ألمنيوم 99.9 %	2.7	7.0	8.4	0.55	25.2	2.65×10^{-6}
سبائك الألمنيوم	2.7 (+)	7.0	18.0 (+)	0.34 (+)	21.6	3.5×10^{-6}
النحاس الأحمر	8.75	9.1	31.6-24.5	0.377	18.7	11.0×10^{-6}
النحاس الأصفر	8.47	10.5	33.6	0.30	19.8	7.0×10^{-6}
سبيكة البرونز	8.8	11.2	33.0	0.20	18.0	9.6×10^{-6}
نحاس 99.9 %	8.96	11.9	22.4	0.94	16.6	1.7×10^{-6}
حديد زهر رمادي	7.2	9.1	31.6-20.4	0.11	12.0	67×10^{-6}
رصاص 99.9 %	11.43	1.4	1.75	0.08	28.8	20.65×10^{-6}
مونيل	8.84	18.4	52.7	0.06	14.0	48.2×10^{-6}
نيكل 99.5 %	8.89	21.7	52.5-38.5	0.15	13.3	6.9×10^{-6}
فضة 99.9 %	10.49	7.7	16.8	0.99	19.6	1.8×10^{-6}
فولاذ (1020)	7.86	21.1	38.5	0.12	12.0	8.4×10^{-6}
فولاذ مقاوم 304	7.93	21.1	105 - 63	0.035	9.0	70×10^{-6}
المواد الخزفية						
ألومينا (Al_2O_3)	3.8	35	27	0.07	5.4	–
الطابوق (الطوب) :						
الطفل الحراري	2.1	–	–	0.002	4.5	1.4×10^{8}
الجرافيت	1.56	0.98	–	0.35	3	86
السليكا (SiO_2)	1.75	–	–	0.002	2	1.2×10^{8}
الخرسانة	2.4 ±	4 - 1	0.16-0.08	0.0025	12.6	–
الزجاج						
ألواح	2.5	9 - 5	5.6 - 2.8	0.0018	9	0.0041-0.0007
كربيد السليكون	3.17	-	14 - 3.5	0.029	4.5	2.5

c)التوصيلات المنزلية

هناك تنافس بين الألمنيوم والنحاس للاستخدام في التوصيلات الكهربائية المنزلية الداخلية ، ولكن الدول الأوربية مازالت تستخدم النحاس نظرا لبعض المشاكل التي تلازم استخدام الألمنيوم في التوصيلات المنزلية ومنها :

1- ضعف مقاومة الألمنيوم إذ تؤدي إلى تقصفه أثناء عملية التركيب .
2- يكوّن الألمنيوم بسهولة طبقة من الأكسيد على السطح ويعمل الأكسيد المتكون كعازل ، ويقلل كثيرا من معدل التوصيل الكهربائي ويصاحب ذلك ارتفاع درجة حرارة السلك ونتيجة لذلك يزداد معدل الأكسدة وتستمر تلك الدائرة المغلقة من نقص معدل التوصيل وتكوين الأكسيد .
3- صعوبة توصيل أسلاك الألمنيوم باللحام نظرا لتكوين الأكسيد على السطح ، إضافة إلى أن الوصلات بين أسلاك الألمنيوم تكون نقطة البداية للتآكل الكيميائي ، فضلا عن كونها عامل مساعد على ذلك خاصة في الأوساط الرطبة . ويعد النحاس أفضل الفلزات وأسهلها من ناحية اللحام وتظل توصيلاته جيدة لسنوات طويلة دون حدوث متاعب أو مشاكل من جراء استعمالها . ولذا فإن النحاس سيظل لسنوات طويلة قادمة هو من أفضل أنواع الأسلاك لنقل التيار الكهربائي في التوصيلات المنزلية .

16.5 الخواص الكهربائية لبعض الفلزات الموصلة واستعمالاتها

1.16.5 النحاس (Copper)

تتكون عائلة النحاس من كل من النحاس والفضة والذهب ، وهي فلزات غير نشطة عرفها الإنسان منذ القدم وتعرف أيضا بفلزات العملة . وقد استعمل النحاس قبل الحديد وذلك بسبب وجود عناصر هذه المجموعة حرة في الطبيعة ، حيث يسهل استخلاصها واستعمالها وتتميز فلزاتها

بسهولة قابليتها للطرق والسحب وجودة التوصيل الكهربائي والحراري والجدول (5-3) يوضح بعض الخصائص الطبيعية لهذه العائلة .

جدول (5 - 3)

بعض الخصائص الطبيعية لعناصر عائلة النحاس

العنصر	الرمز	الكثافة g/cm^3	درجة الانصهار، c°	درجة الغليان، c°	الرقم الذري
النحاس	Cu	8.9	1083	2336	29
الفضة	Ag	10.5	961	1950	47
الذهب	Au	19.0	1063	2600	79

ومن أهم ميزات معدن النحاس أنه يتميز بلونه الأحمر ويوجد في الطبيعة على هيئة أكسيد النحاسوز (Cu_2O) أو ما يعرف(الكوبريت) ، وكبريتيد النحاسوز(Cu_2S) وكذلك بيريت النحاس ($CuFeS_2$) ، ونادرا ما يوجد النحاس بحالة انفرادية وتبلغ نسبته حوالي 0.01% من وزن القشرة الأرضية .

النحاس فلز لين احمر اللون ينصهر بدرجة حرارة 1083c° ويغلي مصهوره في درجة حرارة 2336 c° ويتميز بجودة توصيله للتيار الكهربائي ويعتبر من أجود الفلزات الرخيصة توصيلا للتيار الكهربائي ، وهو فلز ثقيل ذات قابلية عالية للطرق والسحب حيث يمكن عمل شرائح رقيقة وأسلاك رفيعة منه .

يعتبر النحاس ثاني أهم معدن بعد الحديد نظرا لاستخداماته المتعددة فمنه تصنع الأسلاك الكهربائية والأواني والتحف النحاسية ويدخل في تركيب العملات المعدنية ، كما يدخل في أعمال الطباعة وفي صناعة الأقفال والمفاتيح

والمفصلات وإن أهم الاستخدامات تكمن في اشتراكه في العديد من السبائك المعدنية مختلطا بنسب مختلفة مع عناصر فلزية وغير فلزية وأهم تلك السبائك ما يلي :

1- سبائك النحاس مع الخارصين

وتعرف بالنحاس الأصفر (Brass) وتحتوي من 20% – 40 من وزنها خارصين والباقي نحاس وتستخدم في صناعة الآلات وصناعة أوراق خفيفة تستخدم بديلا لأوراق الذهب .

2- سبائك النحاس مع القصدير

وأهمها سبيكة البرونز وتتكون من 90% - 95 نحاس ، 5% – 10 قصدير. وتمتاز بصلابتها وسرعة انصهارها كما تقاوم التآكل . هناك سبيكة معدن الأجراس وتتكون من 19%-28 قصدير وكذلك سبيكة برونز الفوسفور وتتكون من 93% نحاس ، 6% قصدير و 1% فوسفور وتصنع منها أجزاء الآلات التي تتعرض للتآكل ، وفي صناعة دافعات السفن حيث يمنع الفوسفور نمو الطحالب البحرية عليها ومن السبائك الأخرى برونز التماثيل التي تتكون من 90% نحاس ، 5% قصدير ، 4% ، خارصين و1% رصاص .

3- برونز الألمنيوم

وتتكون من 90% نحاس و 10% ألمنيوم ولونها أصفر ذهبي تدخل في صناعة النقود .

4 - سبيكة المونيل (Monel)

وتتكون من 70% نحاس و 30% نيكل وتصنع منها التوربينات المختلفة وبعض الأجهزة الكيميائية .

5 - سبائك النقود

تحتوي العملات النحاسية على القصدير والخارصين ، إضافة إلى النحاس بنسب تتراوح ما بين 1%-3 للقصدير و 1%-15 للخارصين ، أما العملات الفضية فهي تحتوي على 70% من وزنها فضة إضافة للنحاس كما

تـــدخل بعض الفلزات الأخرى في تركيب بعض العملات أهمهـــا البلاديـــوم والألمنيوم .

2.16.5 الألمنيوم (Aluminum)

وهو معدن أبيض فضي رمزه (Al) يوجـــد فـــي المجموعـــة IIA مـــن الجدول الدوري وهو أكثر المعادن وفرة ويؤلف 8% من قشـــــرة الأرض . يـــوجد في الطبيعة على شكـــل خام البوكسايت(أكسيـــــد الألمنيـــوم المميـــه) والكريوليت (Na_2AlF_6) والفلسبار(سليكات الألمنيوم) ، والصلصال ومعـــادن كثيرة أخرى . وهو معدن نشط يتأثر بالهواء مشكلا طبقة واقية مـــن الأكســـيد على سطحه . وهو خفيف الوزن يزداد قوة عند ســـبكه ، لـــذلك يكثـــر مـــن استعمال سبائكه في تركيب الآلات والأجهزة المنزلية . وهو ناقل جيد للكهرباء ويستعمل غالبا في قابلات الإرســـال العالية حيث يعتبر عامل الخفة أمرا مهما للغايـــة . وزنـــه الـــذري 27.0 ونقطـــة انصـــهاره c° 660.5 ونقطـــة غليانه c° 2520 ، ووزنه النوعي 2.6989 عند درجة حرارة c° 20 .

إن من أهم خواص الألمنيوم التي تؤثر بشدة على اســـتعماله فـــي الحيـــاة العملية هي خفة وزنه وإلفته الشديدة للأوكسجين ، ونظرا لكثافته النسبية والتي تبلغ حوالي ثلث كثافة الحديد وسبائك النحاس فإنه يستعمل بعد إضافة كميـــات صغيرة من عناصر أخرى في عمل المسبوكات اللازمة لصـــناعة الطـــائرات والسيارات والصناعات الهندسية . بالإضافة إلى ذلك فـــإن عمليـــات الســـبك والمعالجة الحرارية يمكنها إنتاج سبائك مـــن الألمنيـــوم أقـــوى بكثيـــر مـــن الصلب(على أساس الوزن للوزن) ، بحيث أمتد استخدام سبائك الألمنيوم فـــي الأجزاء الهامة من محركات الطائرات وأجسامها .

إن إلفة الألمنيوم الشديدة للأوكسجين تعد في نفس الوقت خاصية ضارة ونافعة . حيث أن ضررها يسبب الزيادة في تكلفة استخلاص المعدن نفسه التي تفرضها طريقة التحليل الكهربائي . فعادةً ما يستخلص أي معدن بتسخين خامس أكسيده مع عامل مختزل رخيص مثل الكربون (على صورة فحم الكوك) وينقى المعدن الخام الناتج بأكسدة الشوائب الموجودة فيه بواسطة الهواء وهذا هو أساس استخلاص الحديد الغفل وصناعة الصلب بعد ذلك .

إلا أن إلفة الألمنيوم مع الأوكسجين هي أكبر من الكربون لذا يمكن استخلاصه بشكل اقتصادي بواسطة التحليل الكهربائي فقط حيث أن استخدام المواد المختزلة الأخرى والتي لها ميل أكبر للاتحاد مع الأوكسجين من الألمنيوم سوف تجعل هذه الطريقة باهظة التكاليف أيضاً . إن أول من قام بإنتاج الألمنيوم بطريقة التحليل الكهربائي هو العالم " هول " عام 1866 عندما استخدم خليط مصهور من أكسيد الألمنيوم وخام الكريوليت للحصول على معدن الألمنيوم النقي .

على الرغم من إلفته الشديدة للاتحاد بالأوكسجين ، فإن الألمنيوم يقاوم التآكل والصدأ بشكل كبير ويرجع ذلك إلى تكون طبقة رقيقة من الأكسيد المتماسك على سطح المعدن والتي ستمنع استمرار تأثره بالأوكسجين . ويمكن تدعيم هذه المقاومة بعملية المصعدية (Anodizing) وهي طريقة تتم فيها زيادة سمك طبقة الأكسيد على سطح المعدن بطريقة صناعية وهذه الطبقة من الأكسيد تكون صلدة ويمكن تلوينها بصبغ عضوي أو غير عضوي .

وتستعمل قابلية الألمنيوم الشديدة للأوكسجين كذلك في صناعة الصلب حيث يعمل على اختزال الأوكسجين من حديد الصب ويستعمل أيضا في عمليات اللحام مثل لحام الثرميت لأنه يتمتع بخاصية توصيل حراري

وكهربائي تصل إلى حوالي 50% من خاصية النحـــاس ، وإذا أخـــذنا بنظـــر الاعتبار فرق الوزن بين المعدنين نجد أن الألمنيوم يفضل على النحـــاس فـــي عمليات التوصيل الكهربائي ، لذلك فإنه يستخدم حاليا في صنـــاعة القـــابلات الكهربائية وعـــادة ما يكون مجدولا حول قضـــيب مـــن الصـــلب لتقويتـــه ، والألمنيوم النقي نـــفسه معدن طري وضعيف وعلى الرغم مـــن ذلـــك فهـــو يستعمل عادة على صورة سبائك في الاستخدامات الهندسية .

1.2.16.5 سبائك الألمنيوم (Aluminum Alloys)

تضاف العناصر أساسا إلى السبيكة لتحسين الخواص الميكانيكية مثل قـــوة الشد والصلادة والتماسك والتشغيـــل وفي بعض الأحيـــان لتحســـين اللدونـــة وخواص السباكة الأخرى . إن العيـــوب الأساسية التي تصيب سبيكة الألمنيوم هي الغازات الذائبة أثناء عملية الصهر . فالألمنيوم المنصهر مثلا له القـــدرة على إذابة كمية كبيرة من غاز الهيدروجين ، إذا كان متواجدا في جو الفـــرن وعند تبريد المعدن فإن ذوبان الهيدروجين يصل تقريبا إلى الصفر ، مما يؤدي إلى تكون فقاعات غازية لا تستطيع الهروب فتتكون الثـــقوب الإسفنجية فـــي المعدن . ويمكن التغـــلب على هذا العيب بمعالجة المعدن المنصـــهر قبـــل الصب بمعامـــل مســـاعد مناسب أو بإمرار غاز النتروجين أو الكلـــور فـــي المعدن المنصهر أو إضافة مركب سداسي كلوروايثان .

تستخدم سبائك الألمنيوم أما على صـــورة مســـبوكات أو علـــى صـــورة مطروقـــات فبينمـــا يمكـــن تحســـين خـــواص العديـــد منهـــا بمـــا يســـمى بعملية " التصلّد بالترسيب " فإنه بالإمكان تقسيم سبـــائك الألمنيوم إلى أربعـــة مجموعات وذلك حسب الاستخدامات الذي تدخل به هذه السبائك ومن بين تلك المجموعات :

1- السبائك المطاوعة غير المعالجة حراريا
(Wrought Alloys Which Are Non - Heat Treated)

إن أهم المتطلبات في هذه السبائك القوة الكافية والتماسك بعد التشغيل على البارد مع مقاومة جيدة للتآكل . فهذه السبائك تستعمل في صنع اللوحات لأرضيات عربات النقل ويستفاد في هذه الحالة من المقاومة العالية لسبائك الألمنيوم - مغنيسيوم للتآكل . أما السبائك التي تحتوي على نسبة عالية من المغنيسيوم فلها مقاومة ممتازة لمياه وجو البحر ، ولذلك فهي تستعمل في الإنشاءات البحرية .

ويتم إكساب الخواص الميكانيكية لهذه السبائك بواسطة التشغيل على البارد وهي على أساس ذلك تنتج على أصناف طري ، ربع صلد ، نصف صلد ، ثلاثة أرباع صلد ، وصلد . ومن عيوب هذه السبائك أنه بمجرد تشكيلها النهائي فإنه لا يمكن تغيير خواصها الحرارية بعد ذلك بعكس السبائك التي تتصلد بالترسيب لذا فإن المعالجة الحرارية تؤثر في خواصها الميكانيكية تأثيرا كبيرا .

وكما هو متوقع فإن معظم هذه السبائك " باستثناء سبيكة الألمنيوم – السليكون " لها بنية تتكون كلها من محاليل صلبة . وذلك يفسر سر مطيليتها العالية ومقاومتها الشديدة للتآكل .

2- السبائك المسبوكة غير المعالجة حراريا
(Molded Alloys Which Are Non - Heat Treated)

هذه المجموعة من السبائك تحتوي على تلك المواد التي تستعمل في الأغراض العامة بالسباكة في الرمل أو في القوالب . وهذه السبائك تستخدم عندما يكون التماسك وخصائص اللدونة في السباكة والمقاومة للتآكل أهم من المتانة .

إن أهم السبائك المستخدمة في هذه المجموعة هي التي تحتوي على نسبة 9%-13% من السليكون مع قليل من النحاس . وهذه السبائك تمتلك خاصية المزيج اليوتكتيكي أي المزيج ذو نقطة الانصهار بالغة الحد الأدنى الأمر الذي يكسبها صلاحية السبك في القوالب ، حيث أن مجال تجمدها يكون قليلا . ويمكن تهذيب البنية الكبيرة للمزيج اليوتكتيكي (eutectic mixture) بعملية تدعى التعديل (modification) ، وهي تتلخص بإضافة قليل من الصوديوم حوالي (0.1%) للمنصهر قبل الصب . والغرض من ذلك هو تأخير ترسيب السليكون عندما وصول درجة حرارة المنصهر إلى درجة حرارة المزيج اليوتكتيكي .

3.16.5 الفضة (Silver)

رمزه (Ag) وهو معدن نفيس طري أبيض اللون يقع في المجموعة IB من الجدول الدوري وهو عنصر انتقالي .عرف معدن الفضة منذ القدم واستخدم في صناعة المجوهرات والزينة وصنع العملة . ويوجد بصورة خاصة في خامات كبريتيد النحاس والرصاص والخارصين كما يوجد في الأرجنتيت(Ag_2S) وخامات الفضة الأخرى . يتم تركيز الفضة بطرق مختلفة منها ، التنقية البوتقية واستخراجها مع السيانيد كما تتم تنقيتها بواسطة التحليل الكهربائي .

تتميز الفضة بأعلى ناقلية حرارية وكهربائية بين جميع الفلزات ، وتستخدم في المجسات الكهربائية وسبائكها في طب الأسنان والملاغم الخاصة به . ورغم أن الفضة هي من أكثر المعادن النفيسة فاعلية ، إلا أنها لا تتأكسد في الهواء ولا تذوب في القلويات أو الحوامض غير المؤكسدة ولكنها تذوب بسرعة في حمض النتريك أو حمض الكبريتيك المركز . تفقد لمعانها عند تفاعلها مع الكبريت أو كبريتيد الهيدروجين فتتشكل طبقة من

كبريتيد الفضة القاتمة . وزن العنصر الذري (107.9) ونقطة انصهاره 962C° أما نقطة غليانه فهي (2170C°) ووزنه النوعي عند (20C°) هو 10.5 .

من أهم أملاح الفضة هي هاليدات الفضة (AgX) ، وهي أملاح بلورية تستخدم في التصوير الفوتوغرافي . ويكون كلوريد الفضة أبيض اللون وبروميد الفضة أصفر شاحب . أما الملح الآخر المعروف فهو نترات الفضة($AgNO_3$) ، وهي مادة صلبة بلورية شفافة تستخدم كمطهر وكمادة قابضة .

4.16.5 الرصاص (Lead)

رمزه(Pb) وهو فلز أبيض مزرق ثقيل كثافته $11.34g/cm^3$ ، ينصهر عند درجة حرارة 328C° ، ويغلي مصهوره عند درجة حرارة 1751C° ويوجد الرصاص في الطبيعة بنسبة 0.002% تقريبا من وزن القشرة الأرضية ، ولا يوجد منفردا وتعتبر الجالينا(PbS) والسيرويت ($PbCO_3$) أهم خاماته كما يوجد في خامات الإنجليزيت($PbSO_4$) والكروكويزيت($PbCrO_4$) وتنتشر خاماته في مناطق متعددة من العالم من أهمها كندا وأمريكا واستراليا والمكسيك وشمال روسيا . إن الرصاص معدن قابل للطرق ويقطع عند سحبه إلى قضبان . وهو من الفلزات الثقيلة كما سبق ذكره ورغم أن درجة انصهاره منخفضة إلا أنه يغلي في درجة حرارة عالية ويترك أثراً رمادياً عند امراره على ورقة بيضاء .

1.4.16.5 استخدامات الرصاص

للرصاص استخدامات كثيرة ، فهو يستعمل في صناعة رصاص البنادق وأنابيب نقل مياه الشرب وتبطين حجرات تحضير حمض الكبريتيك وهو من الأحماض المهمة وتعمل منه صناديق ذات جدران سميكة تحفظ فيها المواد

المشعة لمنـــع تسرب إشعاعاتها . يحضر منه أكاسيد الرصاص التي تدخل في صناعة الثقاب وفي الطلاء وكمواد مؤكســدة وفــي صنـــاعة الكريســتال والزجــاج البلوري ويستخدم كــذلك فــي تحضيـــر مــادة رابـــع أثيــل الرصاص(Tetraethyl Lead) [$Pb(C_2H_5)_4$] والذي يستعمل في صنــاعة الــجازولين الإثيلي وتحسين جودة الجازولين كما يــستخدم الرصــاص فــي صناعة المراكم(الخلايا) مثل خلية المركم الرصاصي التي تستخدم في بطارية السيارات .

2.4.16.5 سبائك الرصـــاص (Lead Alloys)

من أهم سبائك الرصاص ما يلي :

1- سبيكة اللحام ، وتتكون من 34% قصدير و 66% رصاص .

2- سبيكة فلز الطباعة ، وتتكون من 5% قصدير ، 15% ، أنتيمون و 80% رصاص وتتميز بانخفاض درجــة انصهارها عن فلز الرصــاص ، حيـــث تنصهر في درجة حرارة 240C° وعندما تتجمد فــإنها تتمدد ومن ثــم تأخــذ الشكل اللازم لحروف الطباعة عند صناعتها .

3- صلب الرصاص ، ويتركب من 10% ، 90% رصاص ويســتخدم فــي صناعة ألواح المراكم الرصاصية وفي تسقيف أسطح المباني .

5.16.5 الكربون (Carbon) (C)

ويرمز له بالرمز(C) ، وللكربون أهمية كبيرة في الحياة لأنه يــدخل فــي تركيب الأنسجة الحية النباتية و الحيوانية وهو مصدر مهــم للحصــول علــى الطاقة الحرارية ويدخل في العديد من الصناعــات الكيميائية ، ولقــد كـــان الكربون المصدر الرئيسي للحصول على الطاقــة الحراريــة خــلال الثــورة الصناعية في أوروبا والتي كان محركها الأساسي هو طاقة البخار المتولدة عن احتراق الكربون .

يوجد الكربون في صورته العنصرية " منفردا " ومتحدا مع العديد من العناصر ، وتتعدد المواد والمركبات التي يدخل في تركيبها الكربون فهو يوجد في الورق والمنسوجات والمركبات الكيميائية العضوية وغير العضوية مثل الكربونات وهو أساسي لبناء خلايا الكائنات الحية وهكذا فإن الكربون يوجد في :

1) في الحالة العنصرية مثل الفحم النباتي والحيواني والحجري والماس والجرافيت والسناج .
2) يوجد متحدا مع غيره من العناصر مكونا مركبات مثل أول وثاني أكسيد الكربون وصخور الحجر الجيري المكونة لسلاسل الجبال وكربونات وبيكربونات الصوديوم . يرجع السبب في كثرة مركبات هذا العنصر إلى قدرة ذرته على الاتحاد مع بعضها لتكوين سلاسل طويلة قد تحتوي على أكثر من 90 ذرة كربون في مركب كيميائي واحد كذلك قدرته على الاتحاد مع العديد من العناصر مثل عنصر الهيدروجين أو النتروجين أو الأوكسجين .

1.5.16.5 صور الكربون

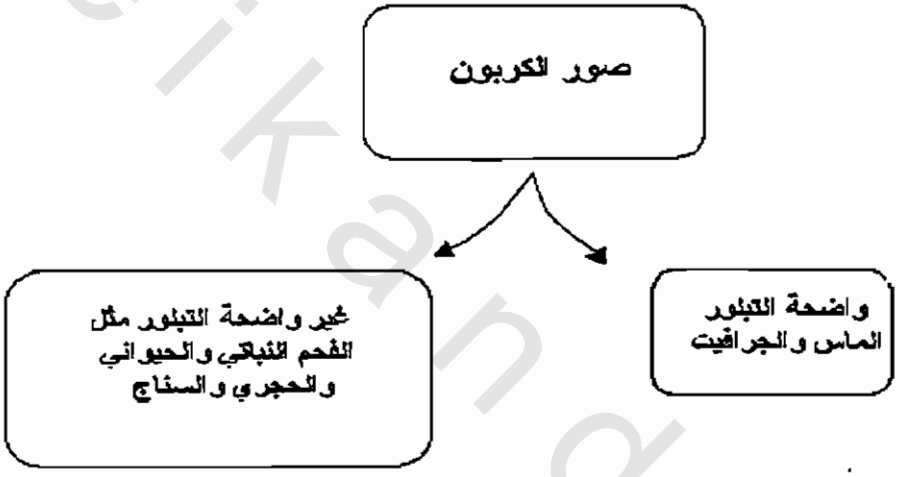
يوجد عنصر الكربون في عدة صور تتكون جزيئاتها من نفس الذرات وتختلف في عدد ذرات الكربون وترتيبها وطريقة ترابط هذه الذرات مع بعضها ، مما يترتب عليه اختلاف كبير في الخواص الطبيعية وقد تحتوي هذه الصور على شوائب متعددة تساهم في تحديد شكلها ولونها وحجمها ومساميتها وطاقتها الداخلية .

ولقد أثبتت الدراسات العلمية بواسطة استخدام الأشعة السينية أن هذه الصور تتكون من عدد هائل من التجمعات لذرات الكربون في الجزيء في نظامين بلوريين مختلفين هما :

1- الماس (Diamond) .

2- الجرافيت (Graphite) .

وقد أثبت فحص الصور الأخرى للكربون أن نظامها لا يختلف عن النظام البلوري للجرافيت إلا أنها تحتوي على شوائب تجعل هذه الصور ذات شكل بنائي غير منتظم ، وأطلق عليها صور الكربون غير المتبلور ومن أمثلتها ، الفحم النباتي والفحم الحيواني والفحم الحجري والسناج " الهباب " كما يوضحها الشكل (5-11) أدناه :



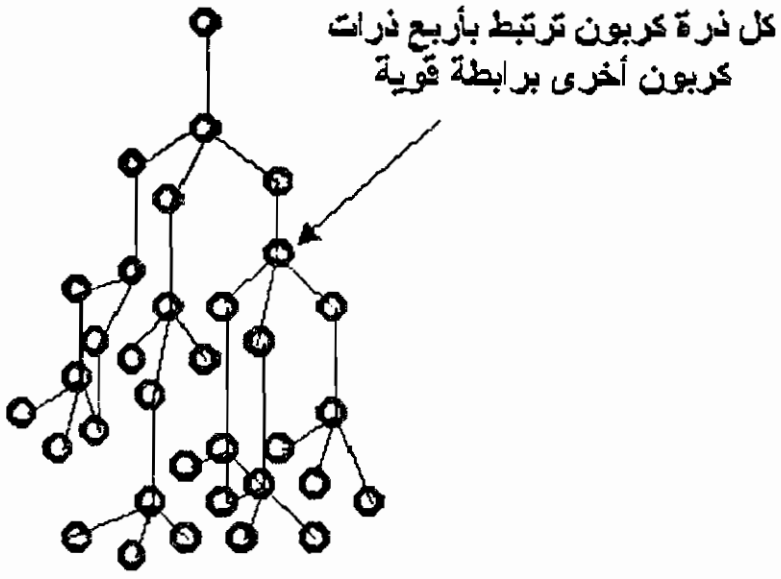
الشكـل (5-11)

صـور الكربـون

2.5.16.5 صور الكربون واضحة التبلور

الماس (Dimond) هو احد صور الكربون واضحة التبلور ، حيث تكون بلورات الماس على هيئة منشور ذو ثمانية أوجه ترتبط فيه ذرات الكربون بقوة كما موضح في الشكل (5 - 12) .

obeikandl.com



الشكـــل (5-12)

الترابـــط في بلـــورات المـــاس

3.5.16.5 خـــواص المـــاس الطبيعيـــة

1) شفاف عديم اللون إذا كان نقيا وإذا أحتوى على شوائب فإنه يتلون بلونها .

2) إذا تعرض للضوء ويحدث بريقا ولمعانا شديدين بسبب معامـــل انكســـاره الكبير وكثرة سطوحه .

3) شديد الصلادة ويعود سبب ذلك إلى قوة الترابط بين ذرات الكربـــون فـــي بلورته .

4) كثافته $3.5g/cm^3$ ، ودرجة انصهاره $3570C^\circ$ ، ولا يوصل الكهرباء .

4-5-16-5 استعمالات الماس

1- يستخدم في صناعة المجوهرات ويختلف ثمنه حسب نوعه .

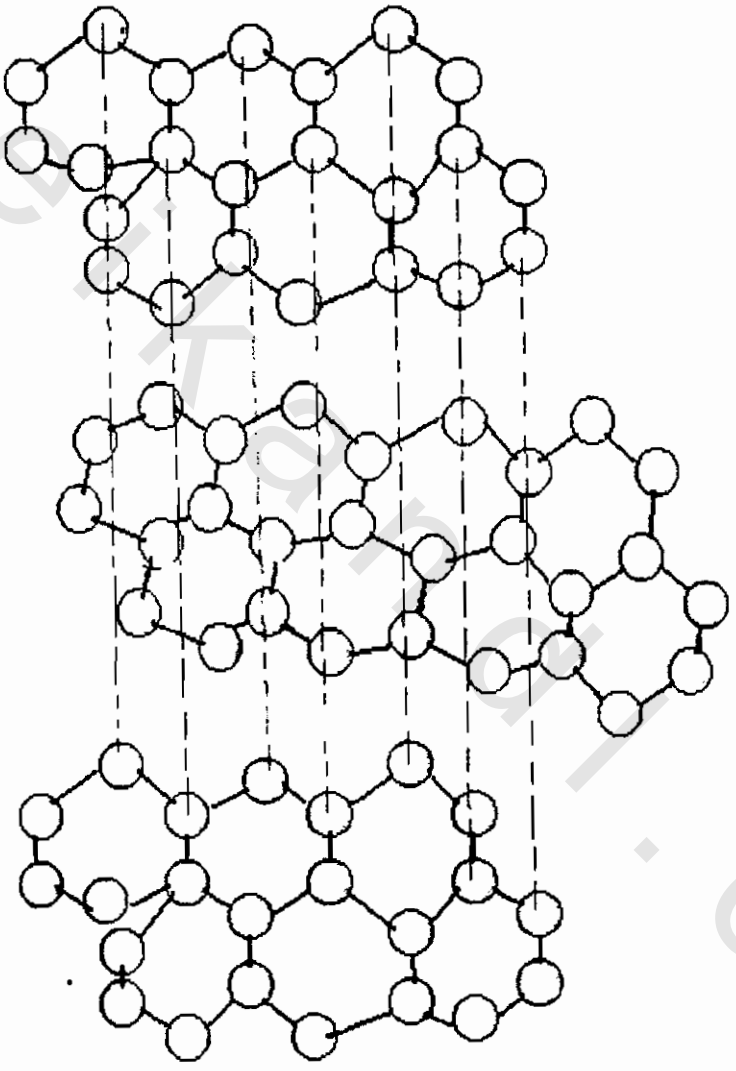
2- يستخدم في صنع مثاقب الصخور وأدوات قطع الزجاج .

3- تسحب من خلاله أسلاك رفيعة من التنجستن والتي تصـــنع منهـــا فتيلـــة المصباح الكهربائي .

obeikandl.com

6.16.5 الجرافيت (Graphite)

تتشكل بلورات الجرافيت على شـكل صـفائح منتظمـة ، تكـون ذرات الكربون فيها متباعدة عن بعضها مما يسبب ضعف تماسكها كما موضح فـي الشكل(5-13) .



الشكـل (5-13)

التركيـب الطبقـي للجرافيـت

1.6.16.5الخواص الطبيعية للجرافيت

1) لون المادة رمادي ولها بريق ولمعان .
2) كثافتها 2.25 جرام لكل سم^3 عند درجة حرارة 20C° .
3) ملمسها ناعم وتترك أثرا أسودا على الأصابع .
4) درجة انصهارها 3527C° عند ضغوط أكبر من الضغط الجوي .
5) تتحول إلى بخار عند درجة حرارة 3500C° .
6) عاكسة للحرارة وجيدة التوصيل للكهرباء .

2.6.16.5 استعمالات الجرافيت

يستعمل الجرافيت في الأغراض والمجالات التالية :

1) صناعة أقلام الرصاص بخلط مسحوقه مع الطفل " الطين أو الصلصال " حيث تزداد صلابته بزيادة نسبة الطفل فيه .
2) صنع أقطاب الأعمدة المستخدمة في عمليات التحليل الكهربائي لأنه موصل جيد للكهرباء .
3) صنع البواتق التي تتحمل الحرارة الشديدة وذلك بخلطه مع الطفل أيضا .
4) تسهيل انزلاق محاور الآلات المتحركة بخلطه مع الشحوم المستعملة في طلاء هذه المحاور .
5) طلاء بعض الأدوات الحديدية لحمايتها من الصدأ .
6) يستعمل في الطباعة .

obeikandl.com

17.5 العــوازل الكهربائيــة (Electrical Non – Conductors)

إن منع انتشار التيار الكهربائي أو الفولتية باستخدام مواد " عوازل " لهـا مقاومة عالية لتدفق التيار ، من شـأنه زيـادة مقـاومة الفولتيات العالية دون أن تتحلل أو تتدهور فاعليتها مع الزمن . وقد تكون مقاومة ضـوء الشـمس والمطر أو الحك مهمة أيضاً . وتهبط عادة مقاومة العـوازل للكهربـاء مـع الحرارة ويستثنى من ذلك الورق والأسبستوس ، وهو معـدن لا يحتـرق ولا يوصـل الحرارة ويكون على شكـل خيوط تصنـع منهـا بعـض الأقمشـة والأدوات غير الـقابلة للاحتراق . وتتفاوت الخصائص الميكانيكية للعـوازل وفقا للتطبيقات حيث تتطلب القابلات مثلا تكسية مرنة بمادة مثل متعدد كلوريد الفنيل(PVC) ، بينما يستخدم الزجاج أو الخزف للمواد المطاطية الصلبة مثل العوازل المستخدمة لإسناد قابلات نقل الكهرباء . والعوازل الحراريـة تعتبـر عموما عوازل كهربائية جيدة .

إن العازل هو جهاز أو وسيلة ذات مقاومة عالية للتيار الكهربائي تستخدم لدعم أو لفصل الـموصلات لمنع انسيـاب تيار غير مرغوب فيه منها إلـى أجزاء أخرى . ويطلق هذا المصطلح أيضا على مادة نطاق طاقتهـا العـادي مملوء ومنفصل عن نطاق الإثارة الأول بواسطة نطاق منعـدم الإلكترونـات يمكن اختراقه فقط بواسطة إلكترون له طاقة قيمتها عدة إلكترون فولت تكفـي لتمزيق المادة . ومن أهم العوازل الكهربائية ما يلي :

1.17.5 المايكـا (Mica)

وهي مجموعة من معادن السليكات الشائعة وتتألف مـن صـفائح أكسـيد السليكون (SiO_2) رباعي الأوجه مع الألمنيوم الذي يحل محل السليكون إلـى حد ما . ويحتوي على كاتايونات وزمـر هيدروكسيلية بين طبقاته . أنـواعه

الرئيسيـــة هي البيوتيت والغلوكونيت . يوجد علـــى نـــطاق واســـع فـــي الصخور النارية والرسوبية ويتعرض للتعرية فيصبح معدن طيني يظهر شقوقا قاعدية مثالية وينتج قشورا مرنة تســتخدم بمثابـــة عـــوازل كهربائيـــة فـــي المتسعات(Capacitors) ، ويستخدم كـــذلك فـــي الـــدهانات والحبـــر وورق الجدران والمطاط والكسوات الصامدة ضد الماء .

2.17.5 البلاستـــك (Plastics)

وتدعى أيضا باللدائن وهي مواد قابلة للقولبة أثناء التصنيع إلـــى أشـــكال مطلوبة هـــناك أنواع قليلة من البلاستيك الطبيعي مثل البيتيومين والراتنجـــات والمطاط إلا أن معظمها من صنع الإنسان ، وبصورة رئيســـية مـــن المـــواد البتروكيميائية . وتتوفر فيها الكثير من الخواص المفيدة مثل الصلابة والمرونة والمتانة والكثافة المنخفضة والقدرة على العزل والخمول ومقاومـــة الأكســـدة ..الخ .

جميع اللدائن هي بوليمرات عالية لها بنية من الكربون ويتألف كل جزيء منها من الآلاف وحتى ملايين من الذرات ، ويقسم البلاستيك إلى صنفين :

1- الصنف الأول ويدعى بلاستيك التلدن الحراري حيث ينصهر هذا الصـــنف أو يليّن عكسيا عند التسخين ويتضمن السليلوز وغيره من أنـــواع البلاســـتيك السليلوزي واللوسيت والنايلون ومتعدد الأثيلين وبـــوليمرات الستايرين والفنيل ومركب متعدد الفورمالدهيد ومتعدد الكربونات .

2- الصنف الثـــاني ويدعى بلاستيك التصلد الحراري وبالرغم مـــن أن هـــذه الأنواع تتم قولبتها عند تصنيعها كبوليمرات بسيطة . إلا أنها تتحول بالحرارة والضغط وفي بعض الأحيـــان بواسطة مصلّد ثـــنائي إلى شكـــــل متصـــلب وغير قابل للانصهار . يتضمن هذا النوع من البلاستيك كـــل مـــن البكليـــت وبعض راتنجات الفينول الأخرى وراتنجـــات الإيبوكســـي ومتعـــدد الإســـتر

والسيكلونات واليوريا فورمالديهايد وراتنجات فورمالديهايد الميلامين وبعض أنواع متعدد اليورثان . وسيتم تناول هذا النوع بالتفصيل في الباب السادس .

3.17.5 الخزف و السيراميك (Ceramic and Porcelain)

وهذه تنتج بمعالجة مواد لا فلزية وغير عضوية مثل " الصلصال " عند درجات حرارة مرتفعة . تشمل المواد الخزفية الحديثة على منتجات متنوعة مثل البورسلين أو ما يعرف بالخزف الصيني وقرميد الأفران والعوازل الكهربائية ومغانط الحديد والمخارط الأمامية للصواريخ يكون الخزف بشكل عام خاملا كيميائيا في معظم الظروف وهو مادة صلبة تستطيع تحمّل درجات حرارة عالية في الاستخدامات الصناعية وتعتبر الكثير من المواد الخزفية أكاسيد فلزية مقاومة للحرارة .

4.17.5 الزجاج (Glass)

وهو مادة تتشكل بالتبريد السريع لبعض السوائل المنصهرة بحيث لا تتبلور ولكنها تحتفظ ببنية غير بلورية . والزجاج هو في الحقيقة عبارة عن سائل فائق البرودة ذو لزوجة عالية جدا تجعله يبدو كمادة صلبة صالحة لكافة الأغراض العملية . وقد يتبلور بعض أنواع الزجاج بشكل آني أو قد يفقد بريقه أو شفافيته . والمواد المشكلة للزجاج قليلة وفي شكله الطبيعي والصناعي يعتمد على السليكا(SiO_2) والسليكات .

يتشكل الزجاج الطبيعي بواسطة التبريد السريع للصهارة ، وهي المادة الصخرية الذائبة في باطن الأرض والتي تنشأ الصخور البركانية منها حين تبرد حيث ينتج السبج وهو الزجاج البركاني الأسود والذي تصنع منه معظم

النـــواتج الزجاجية الحديـــثة ورغم أن السليكا يشكل الزجاج إلا أنه لزج جـــدا وذو نقطة انصهار عالية جدا لمعظم الأغراض . لذا تتم إضافة الصودا لخفض نقطة الانصهار ولكن سليكات الصوديوم الناتجة تذوب في الماء لذلك يضـــاف الجير الذي يعمل كمثبّت بالاشتراك مع أكاسيد فلزية أخرى ضـــرورية لنـــزع الألوان....الخ ، تبلغ النسب العادية لمكونات الزجاج لمكونات الزجاج 70% (SiO_2) و 15% (Na_2O) و 10% CaO .

5.17.5 الورنيـــش (Varnish)

وهو محلول من الراتنجات يستعمل لإعطاء غطاء صلب وشفاف للخشـــب أو للمعدن أو للصبغ أي هو سائل يصقل به سطح المعدن أو الخشـــب لزيـــادة خاصية العزل الكهربائي فيه .

18.5 تمـــاريـــــن

س1- تكلم بالتفصيل عن مستويات الطاقة في الذرة مع تمثيل كل نوع .
س2- ما معنى الوصلة الثنائية (P- n) وبين متى تحدث ، أشرحها بالتفصيل .
س3- وضح بالرسم التركيب البلـــوري لـــذرتي شـــبه الموصـــل الســـليكون والجرمانيوم .
س4- تكلم باختصار عن الخواص المغناطيسية للمواد .
س5- ما معنى المواد القاسية ، وما هي المواد اللينة .
س6- ما هي أهم ميزات وعيوب موصلات الألمنيوم .
س7- تكلم بالتفصيل عن المواد المستعملة كعوازل للقابلات.
س8- كيف يتم اختيار المواد الموصلة والعازلة وضح وذلك بالأمثلة .

obeikandl.com

س9- ما هي أهم المشاكل التي تصاحب استخدام الألمنيوم في الأغراض المنزلية .

س10- عدد صور الكربون ثم تكلم عن كل منها موضحا أهمية كل من الجرافيت – الماس .

س11- تكلم بالتفصيل عن مميزات عائلة النحاس .

س 12- تكلم عن خامات النحاس الطبيعية وأهم استخداماته .

س13- ما هي أهم سبائك كل من العناصر التالية واستخداماتها :

النحاس – الألمنيوم – الرصاص .

س 14- تكلم باختصار عن الخواص الكهربائية للمواد الموصلة التالية :

الفضة – الجرافيت .

س 15- تكلم عن العوازل الكهربائية التالية :

المايكا – البلاستيك – السيراميك والخزف – الزجاج – الورق – الورنيش .

س16- أجب بعلامة(√) أو خطأ (X) أمام العبارات التالية مع تصحيح الخطأ :

1) تتجمع برّادة الحديد حول وسط المغناطيس وليس عند أطرافه .

2) العازل هو مادة أو جهاز ذو مقاومة عالية للتيار الكهربائي .

3) تتناسب قوة الجذب بين قطبي مغناطيس طرديا مع مربع المسافة بينهما .

4) تدعى الفلزات الموجودة في عائلة النحاس بفلزات العملة .

5) في الحماية المهبطية يستخدم المعدن المضحى به كمهبط لعملية الطلاء .

obeikandl.com