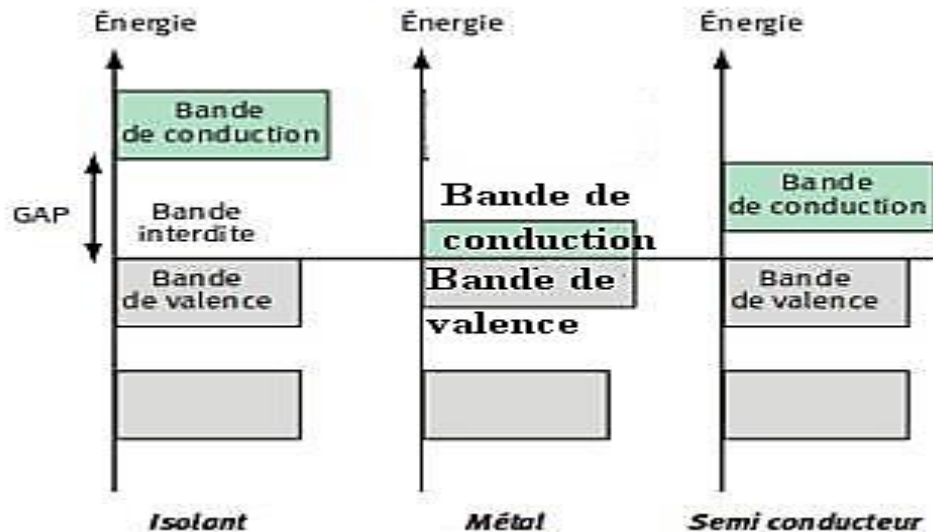


I. LES CONDUCTEURS

I.1 Principe de conduction dans un matériau

Les atomes sont constitués de noyaux et d'électrons qui gravitent autour. Pour qu'un matériau conduise l'électricité, il faut que des électrons soient capables de se déplacer.

Les électrons possèdent une certaine quantité d'énergie qui est quantifiée. Il existe donc des niveaux d'énergie auxquels appartiennent les électrons.



Ces niveaux d'énergies se découpent ainsi :

- La bande de valence : les électrons qui s'y trouvent participent aux liaisons entre les atomes.
- La bande de conduction : les électrons qui s'y trouvent sont mobiles et peuvent bouger d'un atome à l'autre si on leur applique un champ approprié, ils participent donc à la conduction électrique ; c'est le déplacement de ces électrons qui est responsable du courant électrique.
- La bande interdite ou gap : la gamme d'énergie auxquelles les électrons n'ont pas accès (il n'y a pas de niveau d'énergie dans cette gamme).
- Le niveau de Fermi correspond à l'énergie limite qui sépare, au zéro absolu, les niveaux occupés des niveaux vides. Cette énergie est caractéristique du matériau.
- Dans un métal, le gap est nul ; il y a continuité entre les bandes de valence et celles de conduction, il y a donc toujours des électrons susceptibles de conduire le courant.
- Dans un isolant, la dernière bande de valence est pleine, et le gap est énorme : il n'y a donc aucune chance d'exciter un électron pour qu'il passe dans la bande de conduction (l'énergie requise est trop importante et ferait fondre le matériau avant qu'il ne commence à conduire).
- Pour les semi-conducteurs, à température absolue nulle (=0 kelvin) ce sont des isolants : bandes de valence pleines, et bandes de conduction vides. Mais un apport d'énergie faible

(thermique ou lumineuse) suffit à faire passer des électrons dans la bande de conduction car le gap est très faible (de l'ordre de 1 eV) : le matériau devient ainsi conducteur.

I.2 Applications

Les matériaux conducteurs les plus utilisés en électrotechnique sont le cuivre et l'aluminium. On utilise le cuivre dans la plupart des applications magnétiques pour sa faible résistivité (ex. : moteurs électriques, alternateurs, transformateurs). Dans les lignes à haute tension, on utilise l'aluminium pour son faible poids

II. LES SUPRACONDUCTEURS

II.1 Définition

La supraconductivité est la propriété que possèdent certains matériaux de conduire le courant électrique sans résistance à condition que leur température soit inférieure à une certaine valeur appelée température critique (T_c). Ils s'opposent également à tout champ magnétique externe. Ce phénomène est aujourd'hui un enjeu international de première importance. De nombreux laboratoires sont en compétition à travers le monde pour découvrir des matériaux supraconducteurs à température ambiante. Depuis 10 ans, le phénomène n'est plus confiné aux températures très basses et l'on manque d'une théorie expliquant ces nouvelles performances.

II.2 Historique

Tout commença en 1911 par une découverte fortuite. Gilles HOLST, un élève du laboratoire du physicien hollandais Kamerlingh ONNES, travaillant sur l'étude de la résistivité du mercure à la température de liquéfaction de l'hélium, découvrit qu'elle s'annulait en dessous de 4,15 K. Le record de température critique atteint aujourd'hui 164 K (-109°C) avec des composés au mercure sous hautes pressions ; un facteur 7 a été gagné en 10 ans et on ne désespère pas d'obtenir des supraconducteurs à la température ambiante.

Le comportement particulier en présence d'un champ magnétique (diamagnétisme) d'un supraconducteur peut être mis en évidence par une expérience spectaculaire. Si un petit aimant est placé au-dessus d'un supraconducteur, on observe qu'il est en « lévitation » au-dessus du supraconducteur. L'intense diamagnétisme du supraconducteur repousse l'aimant, lui permettant ainsi de rester en suspension dans l'air.

II.3 L'intérêt des supraconducteurs

Les conducteurs classiques, le cuivre par exemple, couramment utilisés aujourd'hui remplissent parfaitement leurs fonctions. Mais ils s'échauffent (pertes par effet Joule), et ce phénomène de pertes est incontournable. Cet échauffement peut même dans certains cas causer la perte pure et simple du conducteur, c'est le « fusible ». De plus, les circuits magnétiques classiques ont deux principales limitations : l'induction magnétique créée est limitée (2 teslas), et leurs poids et encombrement sont plutôt contraignants.

On voit tout de suite l'intérêt des machines supraconductrices et les enjeux qu'elles représentent. Bien que l'industrie électrique ne soit pas prête à adopter cette nouvelle technologie des supraconducteurs qui constitue pour elle un grand changement, il existe déjà plusieurs applications de la supraconductivité.

La supraconductivité se retrouve dans plusieurs domaines, entre autres dans de nombreux domaines de recherche, en fusion nucléaire par exemple, en imagerie médicale par résonance magnétique, dans le stockage d'énergie électrique (les anneaux de stockage), dans les transports (trains à lévitation magnétique mais aussi propulsion magnétohydrodynamique).

II.4 Applications

Ces applications constituent des applications à grande échelle, car on entre dans le domaine industriel, avec toutes les conséquences économiques que cela implique.

La supraconductivité a encore de beaux jours devant elle. Aucune théorie satisfaisante n'existe à l'heure actuelle et les matériaux céramiques nous réservent encore de nombreuses surprises. Ainsi la découverte récente de propriétés supraconductrices dans un matériau de formulation simple MgB_2 , dont les caractéristiques physiques et chimiques constituent un nouveau défi dans la compréhension de ce phénomène très étrange mais combien envoûtant, relance l'intérêt des chercheurs et des industriels.

III. SEMI-CONDUCTEURS

Un semi-conducteur est constitué par un réseau cristallin de matériau très pur. On utilise soit des éléments du tableau périodique possédant chacun 4 électrons sur la couche externe, soit des combinaisons de matériaux qui possèdent 3 et 5 électrons sur la couche externe. Les atomes sont liés entre eux par des liaisons covalentes. Ces liaisons sont robustes, ce qui fait que pour arracher des électrons des atomes, il faut fournir une énergie assez importante (environ 1eV, contre 0,1 eV pour les conducteurs et 5eV pour les isolants).

Les trois principaux semi-conducteurs utilisés en électronique sont :

- Le silicium (Si) : c'est le matériau le plus utilisé actuellement pour la fabrication des composants électroniques.
- Le germanium (Ge) : il est délaissé (trop sensible en température : courants de fuite importants, température de fonctionnement limitée).
- L'arséniure de gallium (AsGa) : il est très utilisé dans la fabrication de composants optoélectroniques, et permet aussi de fabriquer des composants plus rapides que ceux en silicium ; ces applications sont cependant relativement rares.

L'agitation thermique fait que certains électrons quittent leur liaison et deviennent des électrons libres. Ils créent alors un trou qui ne demande qu'à être rebouché par un autre électron libre, surtout si on applique un champ électrique sur le cristal : électrons et trous se déplacent en sens inverse, engendrant ainsi un courant électrique.

Contrairement à ce qui se passe dans les conducteurs, la résistivité des semi-conducteurs diminue quand la température augmente : en effet, plus la température est élevée, plus le nombre

de trous et d'électrons libres augmente, et plus le courant produit est intense quand on branche un générateur sur le cristal.

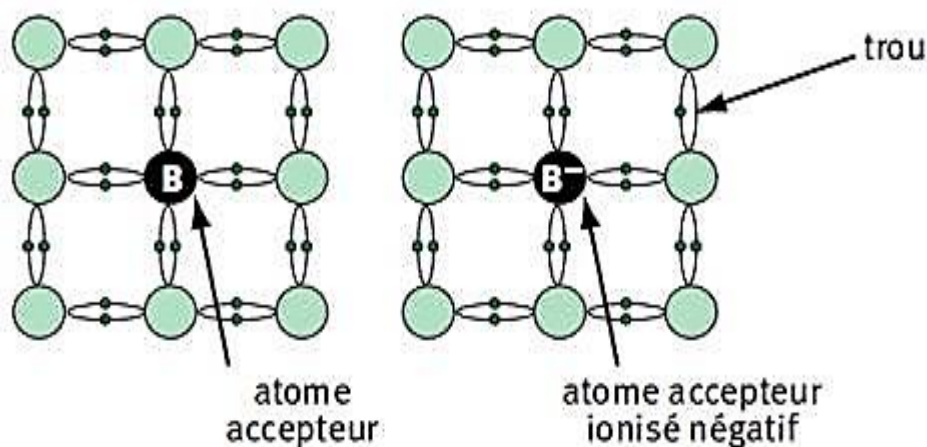
III. 1 Semi-Conducteurs Intrinsèques

Les semi-conducteurs intrinsèques n'ont pas une grande utilité en tant que tels ; ils servent de base aux semi-conducteurs dopés : on y rajoute des impuretés pour modifier leur comportement. Il existe deux types de semi-conducteurs extrinsèques :

-Le semi-conducteur de type P (Positif). On dope le cristal intrinsèque avec un élément possédant un nombre inférieur d'électrons de valence (sur la couche externe) : on peut doper du silicium (4 électrons de valence) avec du Bore, de l'indium, du Gallium ou de l'Aluminium qui possèdent 3 électrons de valence (atome accepteur)

Ces atomes vont prendre la place d'atomes de silicium dans le cristal. Comme ils possèdent 1 électron de valence en moins, il va se créer des trous dans le semi-conducteur. Les trous deviennent porteurs de charges mobiles majoritaires : le semi-conducteur est de type P. Il subsistera quelques électrons libres dans le cristal (porteurs minoritaires).

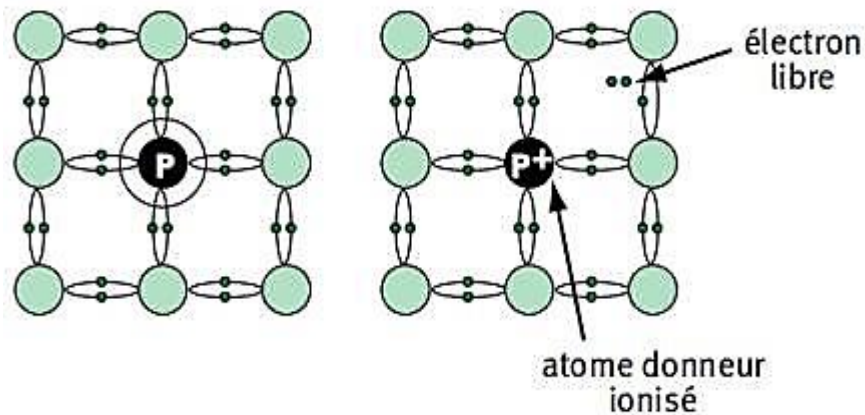
Les trous ainsi créés vont être susceptibles d'être bouchés par des électrons présents dans le cristal (par exemple, des électrons issus de paires électron-trou générés par l'agitation thermique)



-Le semi-conducteur de type N (Négatif). Le principe est le même que pour le semi-conducteur de type P, sauf qu'on dope le cristal avec des éléments ayant un électron de valence de plus (atomes donneurs) : le phosphore, l'arsenic et l'antimoine, qui possèdent 5 électrons de valence pourront doper le silicium par exemple. 4 électrons vont faire des liaisons covalentes avec les atomes de silicium environnants, et le 5^e sera un électron libre ; tous ces électrons libres seront les porteurs majoritaires. Il existera encore quelques trous, mais en très faible quantité.

Les électrons libres seront pratiquement aussi mobiles que dans le cas des conducteurs (liaisons métalliques).

À noter que dans ce cas, l'atome donneur devient ion positif, mais ceci ne crée pas un porteur trou comme dans le cas du silicium P, car cette charge positive ne peut pas se déplacer dans le cristal.



À noter que dans les deux cas (types N et P), le cristal reste globalement électriquement neutre, car le noyau des atomes donneurs comporte un proton de plus que l'atome du cristal intrinsèque, et un de moins dans le cas des atomes accepteurs. Le dopage permet d'avoir beaucoup plus de porteurs d'une espèce donnée que de l'autre, et il a apporté une fragilité supplémentaire dans les liaisons atomiques : l'énergie nécessaire pour arracher un porteur majoritaire d'un atome est d'environ 0,1eV : il y aura plus de charges participant à la circulation du courant que dans un cristal intrinsèque.

III. 2 Applications

Les applications des semi-conducteurs sont très variées. Elles concernent pour une grande partie le domaine de l'électronique (transistors, diodes, circuits intégrés) puisque ces matériaux offrent la possibilité de contrôler, par divers moyens, la conductivité électrique.

D'autres applications très nombreuses sont liées aux propriétés optiques spécifiques des semi-conducteurs : détecteurs (cellules photo-électriques, photodiodes, photographie, détecteurs CCD), émetteurs (diodes électroluminescentes, laser à injection, écrans fluorescents ou phosphorescents), modulateurs de lumière pour les télécommunications, cellules photovoltaïques pour convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Les semi-conducteurs sont également utilisés comme source de micro-ondes, thermistances, chauffage ou refroidissement thermoélectrique.