

TRANSISTORS ET DIODES

AU cours de la dernière décennie, les semi-conducteurs ont pénétré dans presque tous les domaines de l'électronique, ouvrant même de nouveaux champs d'applications à cette technique. Ceci grâce à leurs avantages propres tels que : faible volume, poids minime, faible consommation, grande fiabilité, possibilité de fonctionner à de faibles niveaux d'énergie.

Les télécommunications, c'est-à-dire la transmission à distance des informations, furent pendant longtemps la principale fonction de l'électronique. Depuis quelques années, le développement des applications de la théorie de la commutation aux fonctions telles que la modulation en impulsions codées, les mémoires, la logique, il est apparu que l'homme pouvait étendre de façon considérable ses fonctions visuelles, tactiles ou mentales. Dans le domaine du traitement de l'information notamment, on réalise de nos jours des instruments qui accroissent d'une façon inimaginable il y a seulement vingt ans, nos moyens d'investigation. La réalisation pratique de tels instruments a été rendue possible grâce, en grande partie, aux semi-conducteurs.

En effet, les machines à calculer, ordinateurs ou systèmes à traiter l'information, exigent des milliers ou des dizaines de milliers de dispositifs électroniques actifs. La part de la puissance utilisée pour le seul chauffage des tubes, le prix élevé de ceux-ci lorsqu'on exige une grande fiabilité, avaient empêché de réaliser de tels ensembles avec des tubes, sauf dans quelques cas particuliers.

Mais le domaine d'application des semi-conducteurs est vaste. Il résulte des propriétés fondamentales de ces corps, dont les principales sont les suivantes :

— Résistivité comprise entre celle des conducteurs et des isolants, et variant inversement proportionnellement à la température suivant une loi exponentielle.

— Conductivité proportionnelle à l'éclairement auquel ils peuvent être soumis.

— Effet redresseur.

Ces quelques propriétés suggèrent déjà les applications telles que thermistances, cellules photoélectriques, détecteurs nucléaires, diodes, etc...

Nous nous attacherons surtout à montrer l'évolution des semi-conducteurs.

Bien que d'utilisation intensive récente, les matériaux semi-conducteurs sont connus depuis de nombreuses années. Le silicium que l'on trouve abondamment dans la nature sous forme de dioxyde de silicium (SiO_2), quartz, sable, flint, etc..., fut séparé et identifié comme élément en 1823 par le chimiste suédois J. Berzélius.

En 1886, l'allemand C. Winkler isola le Germanium, d'un composé d'argent et de sulfate de germanium extrait d'une mine de Saxe. La difficulté d'obtenir du germanium à partir du minerai ne permit pas cependant une étude approfondie de ses propriétés.

DIODES

LES PREMIERS DETECTEURS A CRISTAL

A cause de leur structure moléculaire et atomique, les corps semi-conducteurs sont sou-

vent désignés sous le nom de cristaux. Dans le présent article, toute référence à un cristal devra être entendue comme cristal semi-conducteur.

Les premières observations du phénomène de conduction asymétrique de certains cristaux, furent apparemment faites par Munk en 1835, mais ne reçurent pas d'application pratique. La conduction asymétrique se manifesta dans le contact d'un métal avec certains minéraux ou composés, contact qui laisse passer le courant électrique dans un sens, mais le bloque pratiquement dans l'autre.

On sait que la conductivité unilatérale est essentielle pour remplir la fonction de détection. Le premier détecteur à cristal fut inventé en 1906 par M. Dunwoody qui travaillait alors à la société américaine de Forest Wireless Company. Il s'agissait d'un détecteur à cristal au carborundum (SiC).

A la même époque, l'américain G. Pickard, déposa le brevet d'invention d'un détecteur à cristal à pointe, suivant la forme que nous lui connaissons aujourd'hui, c'est-à-dire une pointe métallique en contact avec le cristal. Ce dernier étant en l'occurrence du silicium. Les propriétés de détection de minéraux tels que la galène (PbS), les pyrites de fer (FeS_2) le chalcopyrite (CuFeS_2), la zincite (ZnO), furent aussi découvertes durant les quinze premières années du siècle. Ainsi, aux premiers temps de la radio, les cristaux de galène furent des mélanges, en différentes proportions, de ces composés minéraux. Ils disparurent presque complètement avec l'introduction des tubes thermoioniques à vide. Puis, vers le début de la seconde guerre mondiale, on découvrit que certains types de diodes à cristal de silicium avaient d'excellentes propriétés pour l'utilisation en très haute fréquence. Les cristaux devinrent un composant essentiel dans les récepteurs de radar où ils étaient utilisés pour la conversion de fréquence.

LES PREMIERS REDRESSEURS A CRISTAL

Les redresseurs au sélénium étaient déjà assez largement employés avant la deuxième guerre mondiale. Ils le sont encore dans certains usages, mais chacun sait que les redresseurs au germanium, et surtout au silicium, tendent de plus en plus à remplacer les éléments au sélénium ou les tubes à vide et à gaz. L'action de redressement du germanium fut observée environ neuf ans après l'intervention par Pickard du détecteur à pointe au silicium. En 1915, le suédois C. Benedicks donna une première explication de l'effet redresseur par le contact d'une pointe avec un cristal de germanium. Mais c'est en 1946 que W. Brattain, physicien aux laboratoires de la Bell Company, proposa une théorie de cet effet. Cependant, dès 1942, Benzer de Purdue University aux U.S.A. mit en évidence la possibilité de réaliser des redresseurs au germanium soutenant des tensions inverses élevées (pour l'époque).

A la même époque, les possibilités d'utiliser le silicium à la place du germanium pour la réalisation de cristaux susceptibles de soutenir une forte tension inverse, furent explorées à l'université de Pensylvanie.

APERÇU DE LA SITUATION D'AUJOURD'HUI

La fonction de détection de nos jours est réalisée presque entièrement avec des cristaux de germanium ou de silicium, aussi bien pour la détection de la modulation d'amplitude, la modulation de fréquence, et la détection vidéo-fréquence.

Les diodes mélangeuses pour hyperfréquences permettent de travailler au-delà du Gigahertz (1 000 MHz).

Les diodes ont trouvé une large utilisation en logique. Les nouvelles techniques de fabrication permettent la production en grande série d'éléments pouvant soutenir des tensions inverses de plusieurs dizaines de volts et présentant des temps de rétablissement inférieurs à 10 nanosecondes.

Dans le domaine du redressement, la plupart des constructeurs offrent des dispositifs à jonction PN soutenant des tensions inverses de plusieurs centaines de volts, et capables de redresser des courants de plus de cent ampères.

L'effet de sensibilité aux radiations électromagnétiques est utilisé dans les cellules photovoltaïques (batteries solaires) et dans les photodiodes.

On utilise la variation de capacité d'une jonction PN en fonction de la tension inverse dans les diodes dites « Varicap ». Les varactors basés sur le même principe, permettent la multiplication de fréquence jusqu'à des valeurs de l'ordre du Gigahertz.

LE TRANSISTOR

L'invention du transistor est due aux physiciens américains, J. Bardeen et W. Brattain, en 1948. Les premiers dispositifs étaient des transistors à pointes qui furent étudiés intensivement jusqu'en 1951. Durant cette période, l'effort porta sur le raffinement des méthodes d'obtention à l'échelle industrielle des cristaux de haute pureté et sur l'amélioration des performances.

Dans l'intervalle, en juillet 1949, W. Shockley, de la Bell Telephone, publia une analyse théorique dans laquelle il montrait que puisqu'une jonction PN peut injecter un courant dans un matériau adjacent de type N, elle réalise essentiellement la fonction d'un émetteur. De là, il pouvait prédire qu'un transistor PNP, fait de surfaces en contact plutôt que de pointes voisines, devrait être un dispositif propre à la réalisation.

Au début de 1951, Shockley fit un rapport complet de la théorie et de la réalisation d'un transistor PNP à jonctions. Les transistors à jonctions alliées ou tirées, apparurent en 1952, et les premiers appareils de prothèse auditive transistorisés furent mis sur le marché à la fin de la même année. En janvier 1954 eut lieu, aux Etats-Unis, la démonstration du premier ordinateur entièrement transistorisé : le Tradic. Vers la fin de cette même année, les premiers récepteurs de radio devinrent disponibles.

L'EVOLUTION DU TRANSISTOR

Il va sans dire que les transistors modernes ont une structure technologique différente de ceux qui virent le jour en 1948. Nous nous