

LE TRANSISTOR

Introduction :

Chaque appareil électronique est constitué de composants (parfois des milliers) et généralement de circuits intégrés qui sont de plus en plus petits. Ces derniers sont aussi composés de dizaines de composants électroniques notamment des transistors, éléments de base des circuits intégrés.

I. L'origine du transistor :

Le premier transistor vit le jour en 1948 dans les laboratoires Bell. Il fut découvert par trois ingénieurs Américains :

John Bardeen, Walter Houser Brattain et William Schockley.

Il a permis de remplacer les tubes à vide thermoïonique, ce qui a favorisé le développement de l'électronique car cette découverte revenait bien moins cher, pouvait assurer d'autres fonctions en plus de celles des tubes à vide thermoïoniques et prenait une place nettement inférieure.

John Bardeen (1908-1991):



Entre les années 1945 et 1951, John Bardeen était chargé de la recherche aux laboratoires de la société Bell Téléphone à Murray Hill (New Jersey) où il fera partie de l'équipe qui mettra au point le transistor à germanium. Il sera récompensé pour ses travaux du prix Nobel de physique en 1956 qu'il partagera avec ses deux autres collègues (Walter Houser Brattain et William Schockley). En 1951, il rejoint l'université de l'Illinois, puis en 1972, il reçoit à nouveau le prix Nobel de physique qu'il partagera avec Léon Cooper et John Schrieffer pour avoir mis au point une théorie sur la supraconductivité. John

Bardeen fut le premier scientifique à obtenir deux prix Nobel de physique dans le même domaine.

Walter Houser Brattain :

Né à Amoy (en Chine), Walter Brattain travaillait au département radio du National Institute of Standards and Technology, puis rejoint en 1929 la société de téléphone Bell. Avec les physiciens américains William Shockley et John Bardeen, il élabore alors un petit dispositif électronique, le transistor. Il recevra conjointement avec William Shockley et John Bardeen, le prix Nobel de physique en 1956 pour ses travaux sur les semi-conducteurs et pour sa découverte de l'effet transistor.



Willam Schockley (1910-1989) :



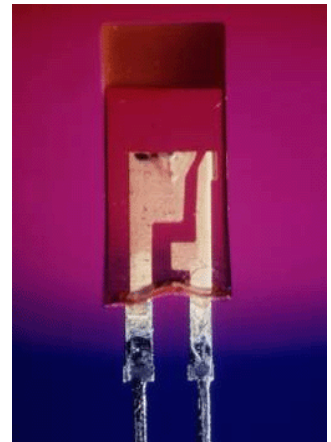
William Shockley, physicien américain (1910-1989), travailla au laboratoire de Bell Téléphone entre 1936 et 1956 où il fit des recherches sur les semi-conducteurs qui le conduisirent au développement du transistor en 1948. Il y devint directeur de la société des transistors Shockley à Palo Alto en Californie. Plus tard (1958), il fut assistant à l'université Stanford et devint par la suite professeur d'ingénierie (1963). Il sera récompensé pour ses travaux avec ses collègues en 1956 du prix Nobel de la physique.

Photographies



Sur cette Photographie, nous pouvons voir le premier transistor créé par W. Schockley, W. Brattain et J. Bardeen.

Cette photographie représente un tube à vide thermoïonique que le transistor remplacera par la suite.



Photographie du silicium, élément semi-métallique et très conducteur servant dans la construction des transistors

II. Sa conception et son mode de fonctionnement :

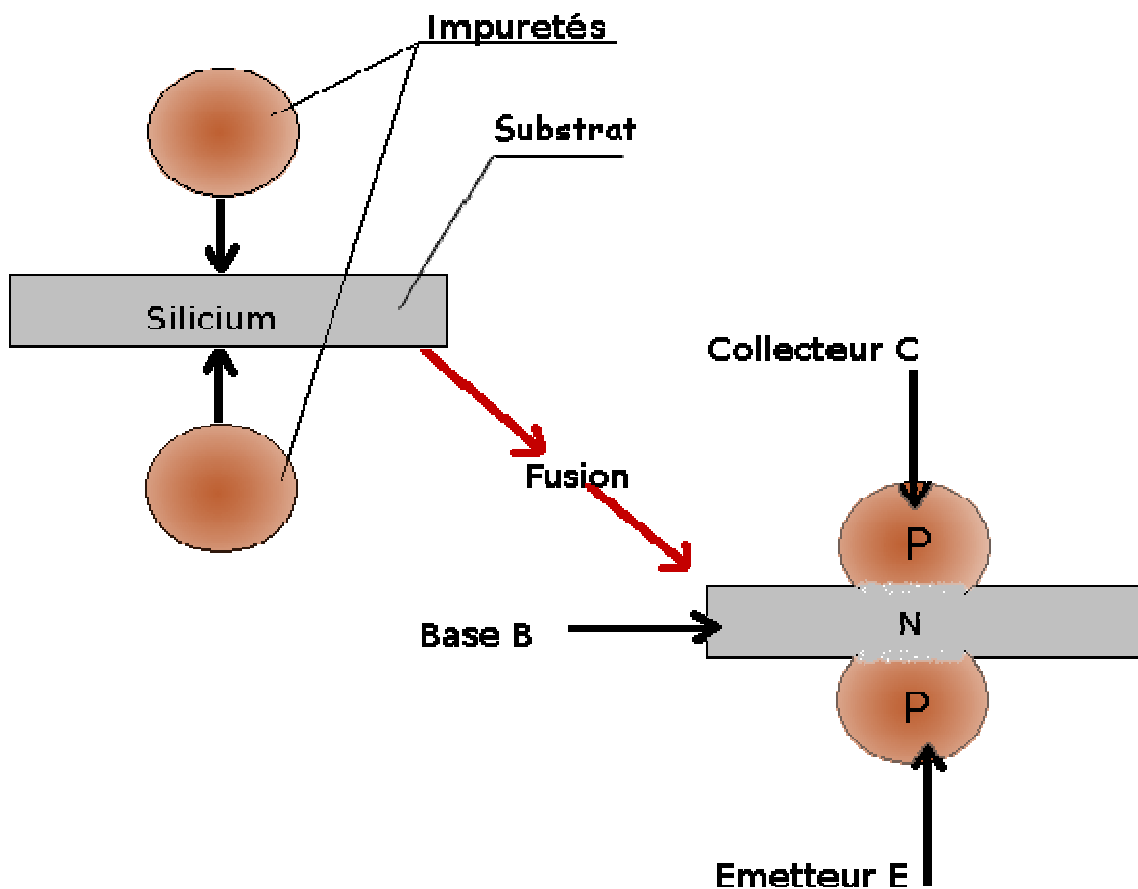
Il existe en électronique, deux types de transistor : les transistors Bipolaires et les transistors Unipolaires (ou transistor à effet de champs). Les transistors Unipolaires sont constitués d'un seul type de porteur de charge : soit le type N, soit le type P. Les transistors Bipolaires ont, contrairement au transistor Unipolaire deux types de porteur de charge le type N et le type P. Ce sujet ne traitera que des Transistors Bipolaires car se sont les plus utilisés dans les montages électroniques.

Fabrication des transistors :

L'élément principal des transistors est un semi-conducteur : le Silicium ou le Germanium. Leur conductivité électrique peut être contrôlée en ajoutant de petites quantités d'impuretés, appelées dopant. On distingue deux façons d'ajouter les différentes impuretés : la méthode par alliage et la méthode par diffusion gazeuse.

Le Procédé par alliage :

Ce procédé est en voie d'extinction. Il consistait à créer les jonctions en posant, de part et d'autre du semi-conducteur destiné à former la base, deux billes du produit dopant et les laisser fondre au four. En leurs points de contact avec le semi-conducteur se créaient ainsi les jonctions attendues (soit P-N, soit N-P).



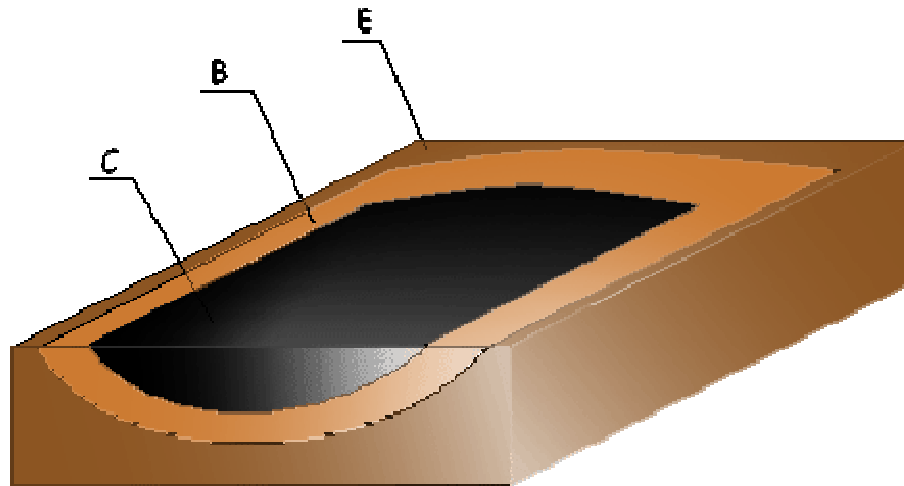
Le procédé par diffusion gazeuse :




Ce procédé consiste à diffuser, sous haute température, les dopants sous forme gazeuse. Ce procédé est, de loin, le plus employé actuellement. Dans ce procédé, on part d'une fine lame de Silicium dopé appelée substrat qui est destinée à constituer le collecteur du transistor.

Dans un four réglé à une température proche de celle de la fusion du Silicium (environ

1 400 °C), on injecte les vapeurs du produit dopant : celui-ci pénètre de quelques microns la surface du substrat et constitue sur celui-ci la base du futur transistor.

Une nouvelle diffusion opérée sur cette base avec un produit dopant de type opposé va créer sur celle-ci la jonction émetteur-base (technique dite à base diffusée). Le schéma suivant représente les différentes couches correspondants aux différentes étapes de diffusions, les lettre C, B et E représentent respectivement le Collecteur, la Base et l'Emetteur du transistor (ces trois parties sont décrites dans la partie "[Les transistors Bipolaires](#)")



-  **Substrat de Silicium : le Collecteur**
-  **1ere diffusion : la Base**
-  **2eme diffusion : l' Emetteur**

Les avantages du procédé par diffusion gazeuse sont bien plus importants que ceux du procédé par alliage :

- Le dopage et les dimensions des jonctions peuvent y être contrôlés avec une bien plus grande précision.
- Seul le procédé par diffusion permet la réalisation des circuits intégrés complexes.

Les Transistors Bipolaires

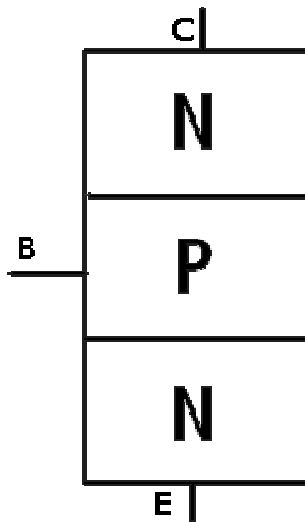
Définition :

Un Transistor bipolaire est un dispositif électronique pouvant remplir les fonction d'un amplificateur, d'un commutateur ou d'un oscillateur, dans les télécommunication, le contrôle et les systèmes informatiques.

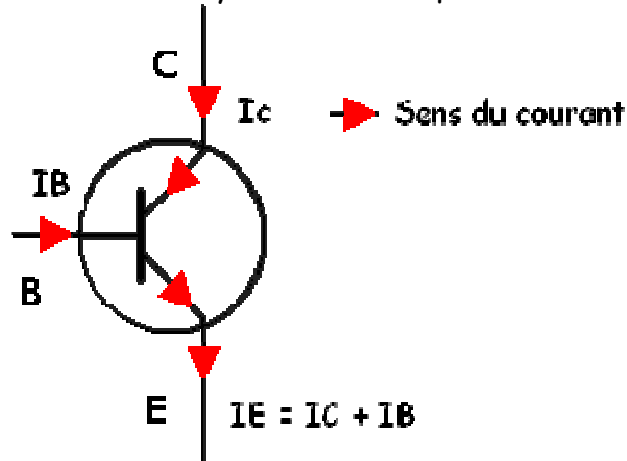
Il existe deux types de transistor bipolaire : les transistors NPN et les transistors PNP.

Les Transistors NPN :

L'ordre des différentes couches est comme son nom l'indique : une couche P, entre deux couches N. Chaque Transistor comporte trois connections : la Base (B), le collecteur (C) et l'émetteur (E). Nous obtenons ainsi le schéma suivant :

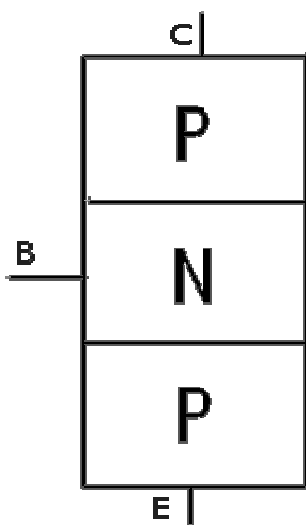


Associé au symbole électrique suivant :

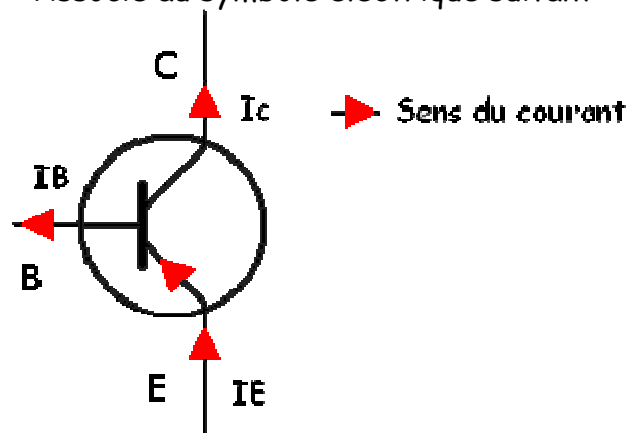


Les Transistors PNP :

L'ordre des couches est l'inverse de celui des transistors NPN, c'est à dire : une couche N comprise entre deux couches P. Comme pour les transistors NPN, les transistors PNP comportent trois connections : la Base (B), le collecteur (C) et l'émetteur (E). Nous obtenons le schéma suivant :



Associé au symbole électrique suivant :



Mode de fonctionnement

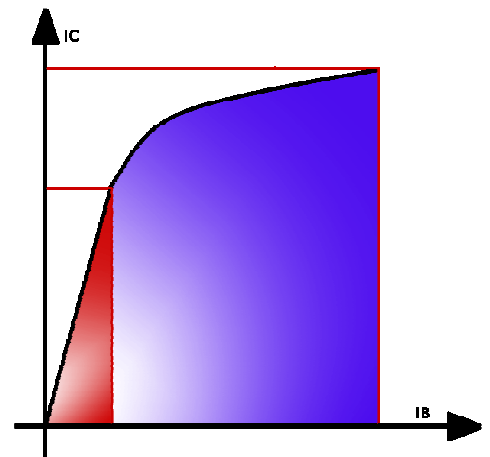
Le transistor dispose de deux modes de fonctionnement : le mode linéaire et le mode non-linéaire.

Lorsque le transistor est en mode linéaire, le courant I_C est directement proportionnel au courant I_B . On exploite alors les propriétés d'amplification du transistor d'où la loi $I_C = K.I_B$ (K étant le gain de courant; cette valeur varie selon les transistors et peut être donnée dans les documentations du constructeur).

Lorsque le transistor est en mode non-linéaire, à partir d'un certain courant I_B , le courant I_C atteint une valeur maximale, le transistor est dit "saturé". On distingue dans ce mode, deux cas extrêmes traduisant un fonctionnement binaire, tout ou rien (1 ou 0). Cette propriété est très utilisée dans les composants logiques.

Le schéma suivant traduit les deux modes du transistor :

- Partie **Rouge** : Zone de fonctionnement linéaire du transistor.
- Partie **Bleue** : Zone de fonctionnement non-linéaire du transistor.



II. Son avenir :

Actuellement, le secteur qui utilise le plus les transistors, est l'informatique. En effet, le processeur de l'ordinateur (calculateur de l'ordinateur) contient à lui tout seul environ 800 millions de transistors repartis dans trois centimètres carrés avec des techniques de gravure approchant les 45 nanomètres. (Microprocesseur Intel Xeon Quad 2008)

Un problème se pose alors, les gravures ont une taille tellement minime que la température devient de plus en plus importante provoquant la fonte des transistors ce qui crée des courts-circuits. La solution réside dans la nanotechnologie qui intervient au niveau le plus élémentaire de la matière : les atomes et les molécules.

Avec cette nouvelle technologie, les laboratoires Bell ont créé le premier transistor moléculaire qui se compose d'éléments de Carbone : les nanotubes de Carbone (des fils mono-moléculaires cent fois plus résistants et six fois plus légers que l'acier). Ce nouveau transistor sera en mesure d'effectuer les mêmes tâches qu'un transistor actuel à la différence qu'il pourra remplacer plusieurs milliers de transistors actuels et ira beaucoup plus vite. Ainsi, les chercheurs visent, avec cette nouvelle technologie, à approcher le térahertz (mille gigahertz), alors qu'actuellement nous sommes au gigahertz.

COMBIEN DE TRANSISTORS

Dans tous les produits électroniques courants aujourd'hui on trouve des transistors.

- ✓ La carte Vitale : il y a 1000 transistors dans la puce.
- ✓ Dans une carte bleue, ce sont également 1000 transistors.
- ✓ Dans un PDA, il y a 5 millions de transistors.
- ✓ Dans une clé USB de 1 Giga-octet, il y a 4 milliards de transistors. On estime que l'information peut être conservée 100 ans dans une clé USB.
- ✓ Un téléphone portable 10 millions de transistors pour le fonctionnement.

Évolution du nombre de transistors dans les microprocesseurs Intel :

1971 : <u>4004</u> : 2 300 transistors	2001 : <u>Pentium 4</u> : 42 millions de transistors
1978 : <u>8086</u> : 29 000 transistors	2004 : <u>Pentium Extreme Edition</u> : 169 millions de transistors
1982 : <u>80286</u> : 275 000 transistors	2006 : <u>Core 2 Duo</u> : 291 millions de transistors
1989 : <u>80486</u> : 1,16 millions de transistors	2007 : <u>Core 2 Quad</u> : 410 millions de transistors
1993 : <u>Pentium</u> : 3,1 millions de transistors	2008 : <u>Xéon Quad</u> : 800 millions de transistors
1995 : <u>Pentium Pro</u> : 5,5 millions de transistors	
1997 : <u>Pentium II</u> : 27 Millions de transistors	

En 2008 la dimension minimum possible d'un transistor est de 45 nm.

Soit : $45 * 10^{-9}$ m, soit 45 milliardièmes de mètre.

On admet que le diamètre moyen d'un cheveu est de 75 millièmes de millimètre	
37 500	Rayon moyen d'un cheveu en nanomètre
4 415 625 000	Surface moyenne d'une section de cheveu en nano-m ²
2 025	Surface d'un transistor de 45 nm de côté, en nano-m ²
La section d'un cheveu peut donc contenir plus de 2 millions de transistors de 45 nanomètres.	

Comparaison

La dimension des virus est de 20 à 250 nanomètres (10^{-9} m). La dimension des cellules animales ou végétales est de 1 à 100 micromètres (10^{-6} m). La dimension des bactéries est de 1 à 10 micromètres (10^{-6} m). **Agrandissons la taille d'une cellule animale à celle d'une piste de cirque réglementaire (soit un cercle de 13 mètres de diamètre. Comparativement, la taille des virus s'échelonne d'une noisette (pour le plus petit) à une citrouille (pour le plus gros). La taille moyenne des virus est de 100 nm (soit un melon). Un transistor de 45 nanomètres aurait alors la taille d'un pamplemousse.**

Sources :

1. CNAM – Séminaire « L'électronique dans la société contemporaine » 28 avril 2006 - C. Rumelhard, Chaire de physique des composants électronique.
2. <http://www.intel.com/> et <http://www.ibm.com/us/>