

efforcerons de montrer que l'évolution des technologies a été imposée par deux facteurs essentiels :

— L'amélioration des performances électriques tant statiques que dynamiques.

— La sécurité d'emploi, c'est-à-dire la fiabilité.

LE TRANSISTOR A POINTES

Il consistait fondamentalement en une pastille de germanium sur la surface de laquelle étaient placées deux pointes très fines séparées par une distance de l'ordre de 100 μm . Le germanium utilisé était principalement du type N. La pastille de germanium était appelée la base, et les deux pointes de contact l'émetteur et le collecteur respectivement.

Par exemple, les types OC 50 et OC 51, qui furent parmi les premiers transistors européens introduits sur le marché, se présentaient sous la forme d'une cartouche de 5,5 x 12 mm avec deux fils de sortie d'une longueur de 7 mm environ.

La base était reliée à la partie métallique de la cartouche, l'émetteur au fil rectiligne, et le collecteur au fil coudé.

La cartouche était imprégnée d'un matériau thermoplastique. C'est cette structure qui a donné lieu à la représentation schématique du transistor, représentation adoptée presque universellement (fig. 1).

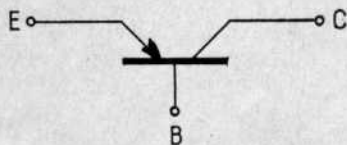


FIG. 1

Rappelons brièvement le principe de fonctionnement de ces transistors à pointes.

En fonctionnement normal, l'émetteur était polarisé en direct, présentant ainsi une faible résistance ; le collecteur était polarisé en inverse, offrant alors une résistance élevée. Tout accroissement du courant direct d'émetteur donnait lieu à une augmentation du courant inverse de collecteur donc à une diminution de la résistance inverse base-collecteur, la polarisation inverse de celui-ci restant inchangée. On pouvait alors parler d'un transfert de résistance de la sortie du dispositif sous l'influence de son entrée. Ce que les Anglo-Saxons appelaient le TRANSfer RESISTOR.

Les transistors à pointes ne fonctionnaient qu'à des fréquences basses. Ainsi la fréquence de coupure d'un type tel que l'OC 51 était de 1,5 MHz. D'autre part, leur facteur de bruit était élevé : 43 dB pour un OC 50. Dans les mêmes conditions de fonctionnement 5 dB est la limite supérieure pour un transistor moderne. Etant donné leur structure et leur technologie, il n'était guère possible d'améliorer sensiblement les performances de ces transistors. En particulier les contacts par pointe exigeaient que celles-ci fussent minces minces, ce qui limitait les courants qu'elles pouvaient supporter et, d'autre part, le gain en courant et par conséquent la fréquence de coupure, dépendaient en grande partie de la distance entre les deux pointes d'émetteur et de collecteur. Les contacts émetteur et collecteur étant pris par points de très petite surface, la tension qu'ils pouvaient soutenir était faible.

LES TRANSISTORS A JONCTIONS

Les premiers apparurent en 1952, aujourd'hui ils se vendent par centaines de millions à travers le monde chaque année. Ils constituent le composant actif de base dans presque toutes les applications de l'électronique moderne.

Il existe plusieurs technologies de ces transistors, chacune d'elles constituant, dans la plupart des cas, un pas en avant dans le domaine de la performance. Aussi, analyserons-nous, par ordre chronologique d'apparition sur le marché, l'évolution de ces différentes technologies.

a) Jonctions par alliage

Les transistors à jonctions par alliage furent les premiers à être utilisés à grande échelle,

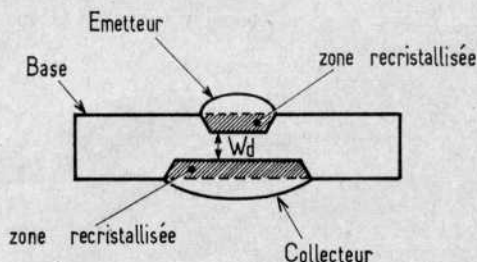


FIG. 2

et ils représentent encore de nos jours une part important du marché dans le domaine grand public et professionnel.

Les jonctions par alliage permettent de réaliser économiquement des transistors pour applications en audio et radio-fréquences, ainsi que des éléments de puissance jusqu'à une cinquantaine d'ampères pour des usages industriels.

Cette technique se prête à la réalisation aisée de jonctions PNP ou NPN au germanium, mais se révèle plus délicate quand il s'agit de jonctions au silicium. Enfin, elle ne permet pas de fabriquer, à l'échelle industrielle, des transistors de fréquence de coupure supérieure à une vingtaine de Mégahertz.

En effet, le temps de transit des porteurs minoritaires dans la base d'un transistor est fonction de l'épaisseur effective de W_a de celle-ci (fig. 2). Le temps de transit limite, entre autres, les performances en fréquence. L'épaisseur effective de la base, c'est-à-dire la distance entre les zones recrystallisées de l'émetteur et du collecteur, dépend de la profondeur des alliages réalisés sur chaque face.

On conçoit facilement la difficulté de réaliser, en production industrielle, des épaisseurs de base de l'ordre d'une dizaine de microns par la méthode d'alliage. Au-dessous de ces valeurs, le rendement de production serait trop aléatoire.



FIG. 3

Les constructeurs se limitent à ces valeurs, ce qui, par voie de conséquence, impose un terme aux performances en fréquence.

De plus, cette technologie impose des surfaces de jonctions relativement importantes qui donnent lieu à des capacités internes collecteur-base et émetteur-base.

b) Jonctions tirées

Les dispositifs à jonctions tirées eurent quelque succès au début de l'industrialisation des transistors. Quelques-uns sont encore uti-

lisés aujourd'hui. Ils furent réalisés tant à partir du germanium qu'à partir du silicium. Pour obtenir l'un ou l'autre de ces cristaux à l'état pur, la méthode utilisée est la technique du tirage dite de Czochralski suivant laquelle un germe monocristallin est lentement tiré à partir, par exemple, d'un bain de germanium à l'état de fusion. Le germanium recrystallise exactement dans le même arrangement que le monocristal ou germe. On utilise la même idée pour la fabrication des transistors à jonctions tirées. En partant d'un matériau de type N, une petite quantité d'un matériau donneur est ajoutée, qui contrebalance les accepteurs présents. Il en résulte un sandwich NPN dans le cristal tiré, qui a les propriétés requises pour faire un transistor. Le lingot terminé est coupé.

Les fonctions sont localisées et plusieurs transistors sont découpés du sandwich (fig. 3).

Malheureusement, l'opération de localisation des jonctions et la prise de contact sont délicates à réaliser.

Seul un nombre restreint de transistors peuvent être faits à partir de chaque opération de tirage.

Cependant, cette méthode a permis de réaliser des transistors d'épaisseur de base assez fine, et qui pouvaient atteindre une cinquantaine de mégahertz de fréquence de coupure, et qui présentaient une assez faible capacité collecteur-base.

c) Les transistors diffusés

Beaucoup de transistors modernes sont fabriqués par diffusion ou tout au moins par des méthodes qui tirent parti de ce phénomène. La méthode de diffusion fut introduite vers 1955, mais les techniques ont évolué depuis lors. Elles ont laissé leur nom aux semi-conducteurs réalisés à partir de procédés différents.

On peut classer les transistors utilisant la diffusion en deux grandes catégories :

— Ceux qui sont fabriqués par une méthode relevant de la diffusion et de l'alliage, ou transistors à base diffusée.

— Ceux dont les jonctions sont obtenues directement par diffusion, ou transistors à jonctions diffusées.

Le principe de base utilisé est la technique de diffusion qui consiste à introduire dans la phase vapeur des accepteurs dans un cristal N ou réciproquement, des donneurs dans un cristal P. Le cristal est porté à une température légèrement inférieure à son point de fusion. L'opération s'effectue à l'abri de l'air, dans un four tubulaire parcouru par un gaz chimiquement inerte. C'est un processus lent qui, par choix de la température et du temps, permet le contrôle très précis de l'épaisseur des couches formées. Pour cette raison, la méthode de diffusion est très commode pour la reproduction des couches minces. Une propriété caractéristique de ces couches est la diminution graduelle de la concentration en impuretés de la surface du cristal vers l'intérieur, ce qui constitue un champ électrique accélérateur.

Ainsi, la méthode de diffusion soulève la difficulté majeure du transistor par alliage, puisqu'elle permet de réaliser des bases de faible épaisseur effective. De plus, les concentrations non homogènes mais graduées des impuretés dans la base, apportent une réduction sensible du temps de transit des porteurs.

Les premiers transistors utilisant le principe de diffusion pour la réalisation de bases minces, apparurent vers 1956. Parmi ceux-ci nous citerons :

Le transistor « Drift » dont l'émetteur et le collecteur étaient alliés sur une base diffusée ; il présentait sur le transistor par alliage les avantages suivants :