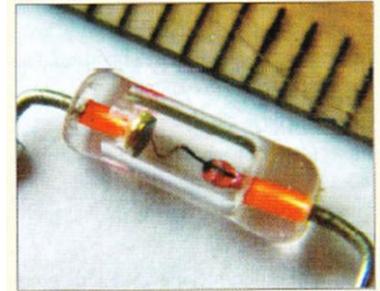


Exercice : Jonction PN, diodes et transistors

Problématique :

Pour fabriquer les composants électroniques et optoélectroniques utilisés aujourd'hui, on ajoute des impuretés dans un semi-conducteur, le plus souvent du silicium, parfois du germanium. On dit alors que le silicium est dopé. Etudions le fonctionnement de certains composés électroniques.



▲ Diode de germanium.

DOC 1. Jonction PN

Une jonction PN est la surface séparant une zone dopée N et une zone dopée P.

On considère une zone de cristal de silicium dans laquelle certains atomes de silicium ont été remplacés par des atomes ayant cinq électrons de valence. On dit alors que le silicium est dopé N ; les charges mobiles sont essentiellement des électrons. Dans une zone contiguë de ce cristal, certains atomes de silicium ont été remplacés par des atomes ayant

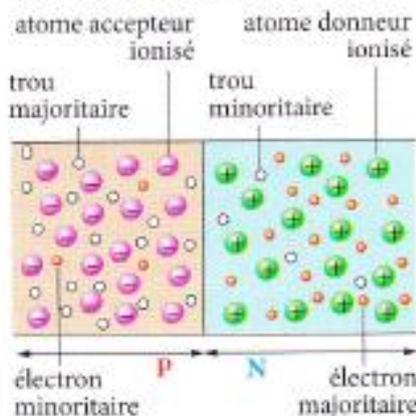


Figure 1.A Dopage des zones P et N d'une jonction.

trois électrons de valence. On dit alors que le silicium est dopé P ; les charges mobiles sont essentiellement positives, on les appelle « des trous » (fig. 1.A).

Les électrons libres de la zone N diffusent dans la zone P ; de même, les trous de la zone P diffusent dans la zone N. Ces porteurs mobiles de charges de signes opposés se neutralisent dans une zone de transition, qui s'étend de part et d'autre de la jonction PN (fig. 1.B).

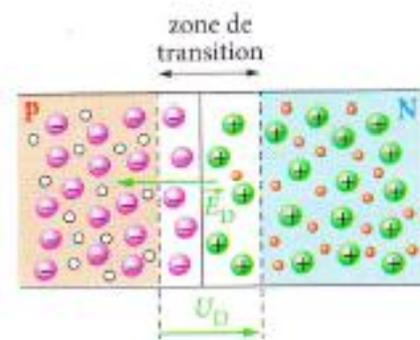


Figure 1.B Zone de transition d'une jonction PN.

Dans la zone de transition, il n'y a plus que des ions fixes : positifs dans la zone N et négatifs dans la zone P.

Ces ions créent un champ électrique \vec{E}_D dirigé de N vers P et une tension U_D de l'ordre de 0,7 V.

Les électrons libres de la zone N, ainsi que les trous de la zone P, sont repoussés par ce champ \vec{E}_D . Un équilibre s'établit alors (fig. 1.C).

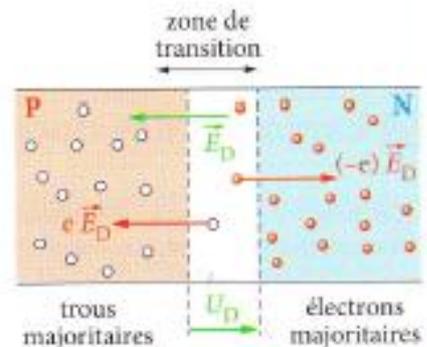


Figure 1.C Apparition d'une zone de transition sans porteurs de charges mobiles.

DOC 2. La diode

Une diode est un dipôle, généralement fabriqué à partir de silicium ou de germanium, comportant une jonction PN. Étudions le comportement d'une diode lorsqu'elle est connectée à un générateur de tension.

Polarisation en sens direct

La zone P est reliée à la borne positive du générateur et la zone N à sa borne négative.

Pour traverser la zone de transition, les porteurs de charges (électrons et trous) doivent franchir une « barrière de potentiel » correspondant à une tension réduite $U_D - U$.

Quelques-uns, ayant acquis par agitation thermique l'énergie nécessaire, créent un courant qui croît avec la tension appliquée U .

La jonction est dite passante.

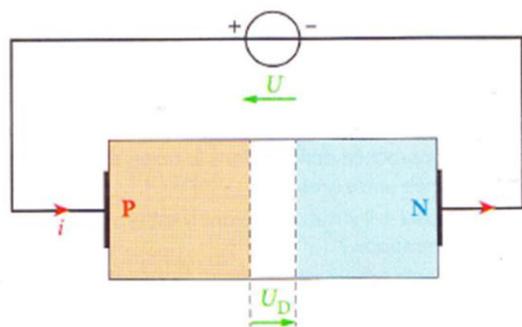
Polarisation en sens inverse

La zone P est reliée à la borne négative du générateur et la zone N à sa borne positive.

La tension bloquant les porteurs de charge est accrue : aucun courant ne peut circuler.

La jonction est dite non passante ou bloquée.

DOC 3. Jonction PN passante



DOC 4. Le transistor

Les diodes sont des composants non commandés, incapables d'agir sur le courant qui les traverse.

Les transistors possèdent une troisième borne leur permettant, dans le sens passant, de régler eux-mêmes le courant, voire de le bloquer. Il existe deux catégories de transistors : les transistors bipolaires et les transistors à effet de champ.

Les transistors bipolaires sont constitués de deux jonctions PN, ayant des sens passants opposés, le plus souvent NPN comme sur le schéma de la figure 4.A.

Il existe diverses familles de transistors à effet de champ ; le schéma de la figure 4.B est celui d'un MOS (Métal, Oxyde, Semi-conducteur).

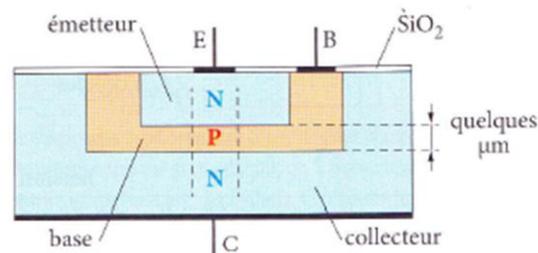
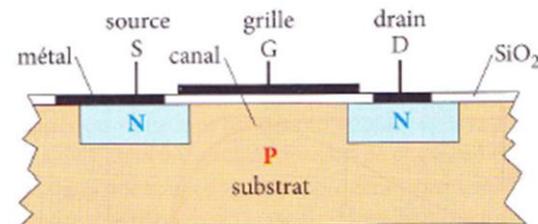


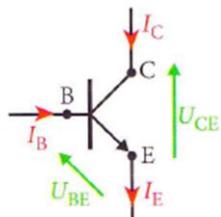
Figure 4.A Schéma en coupe d'un transistor bipolaire.



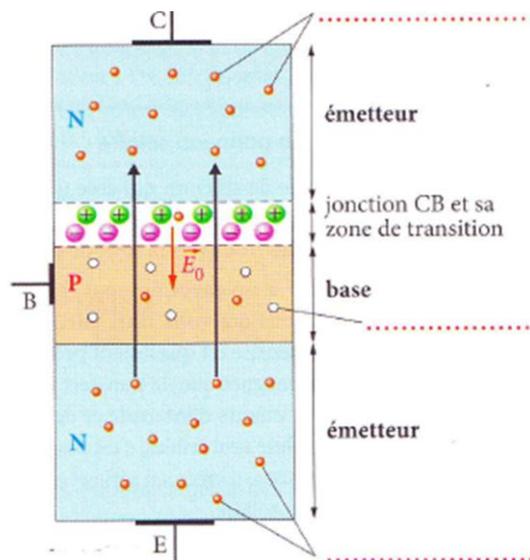
DOC 5. Fonctionnement d'un transistor

Les transistors bipolaires

Si $U_{BE} = 0$, la jonction PN entre la base B et le collecteur C est dans le sens bloqué : le transistor se comporte comme un interrupteur ouvert.



Si un courant i_B est envoyé sur la base, un courant i_C peut circuler entre le collecteur et l'émetteur. L'intensité de courant est quasiment proportionnelle à i_B , soit $i_C = \beta i_B$ (avec $\beta \approx 100$) : le courant de base i_B commande le courant de collecteur i_C .



Porteurs de charges dans un transistor bipolaire.

Les transistors à effet de champ (TEC)

Le transistor est composé :

- d'une électrode qui injecte les porteurs dans la structure ; la source ;
- d'une électrode qui recueille les porteurs : le drain ;
- d'une électrode où est appliquée la tension de commande : la grille.

Un champ électrique appliqué par la « grille » contrôle le passage de courant dans un canal conducteur ; dans le cas de la figure 4.B, ce canal est « dopé » N. Une tension négative, appliquée sur la grille, repousse les électrons du canal qui se vide progressivement, jusqu'à être « déserté » et devenir isolant. On a ainsi réalisé un interrupteur solide qui est commandé par la tension entre la grille et la source U_{GS} .

Questions : On utilisera la classification périodique

DOC.1 :

- a. Quel atome comportant cinq électrons dans sa couche de valence peut-on insérer pour doper négativement un cristal de silicium ?
- b. Pourquoi les électrons libres de la zone N sont-ils repoussés par le champ électrique de la zone de transition ?

DOC.2 et DOC. 3 :

- c. Décrire une jonction passante ?
- d. Pourquoi la jonction de la diode est-elle bloquée quand les bornes du générateur sont inversées ?
- e. Quelle est la conséquence de l'insertion d'une diode dans un circuit alimenté en courant alternatif ?
- f. Quel est l'intérêt de disposer d'un dipôle ne présentant que deux états : bloqué ou passant ?

DOC. 4 et DOC.5 :

- g. Pourquoi peut-on dire que les transistors règlent eux-mêmes leur courant de sortie ?
- h. Quelle électrode permet ce réglage ?
- i. Ecrire la relation entre les intensités i_C , i_E et i_B . En utilisant la relation approchée donnée dans le texte, donnée la relation approchée entre i_C et i_E .
- j. Que se passe-t-il si aucun courant n'est envoyé sur l'électrode de commande ?
- k. Compléter la nature des porteurs de charge sur la figure du document 5.
- l. Quelle différence dans le mode de commande, existe-t-il entre un transistor bipolaire et un transistor à effet de champ ?