

CHAPITRE V EPITAXIE

1) Définition :

L'épitaxie est une étape technologique consistant à faire croître du cristal sur du cristal. Etymologiquement, "épi" signifie "sur" et "taxis", "arrangement". La technique va donc consister à utiliser le substrat comme germe cristallin de croissance et à faire croître la couche par un apport d'éléments constituant la nouvelle couche. La couche épitaxiée peut être dopée ou non dopée.

On parlera, dans le cas où :

- les matériaux sont identiques, d'homoépitaxie ; par exemple, épitaxie d'une couche n- sur une couche n+, impliquée dans la jonction collecteur-base d'un transistor bipolaire permettant une meilleure tenue en tension de cette jonction polarisée en inverse (figure 14),
- les matériaux sont différents, d'hétéroépitaxie ; par exemple croissance d'une couche de $GaxAl_{1-x}As$ sur une couche de GaAs ; cet assemblage permet la fabrication de super-réseaux ou de couches à forte mobilité destinées aux transistors HEMT (High Electron Mobility Transistor).

Dans ce dernier cas, la croissance ne sera possible que s'il y a accord de maille, c'est-à-dire même réseau cristallin et paramètres de maille très voisins (distance entre atomes peu différente pour le nouveau réseau ; quelque 1 à 2 % au maximum d'écart).

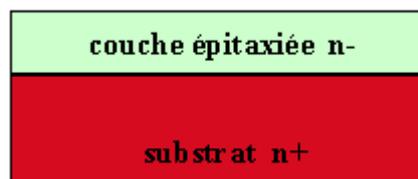


Figure 1 : Exemple d'une épitaxie n- sur un substrat de type n+ ; on dira que le substrat est épitaxié

Les méthodes expérimentales :

Il existe principalement 3 types de méthodes expérimentales.

- l'épitaxie par jet moléculaire, EJM ou MBE (Molecular Beam Epitaxy),
- l'épitaxie en phase liquide ou LPE (Liquid Phase Epitaxy),
- l'épitaxie en phase vapeur ou VPE (Vapor Phase Epitaxy).

Pour chacune de ces techniques, des appareillages spécifiques sont mis en œuvre.

L'épitaxie par jet moléculaire

Cette technique consiste à envoyer des molécules à la surface d'un substrat dans un vide très poussé afin d'éviter tout choc ou contamination sur le parcours. Le principe de la source est l'évaporation sous vide (cellule de Knudsen) par chauffage. Les sources d'évaporation peuvent être de nature et de dopage différents ; pour chaque élément évaporé, il faut adapter la puissance de chauffe de cellules mais aussi du porte-substrat. Par le contrôle des cellules d'évaporation, on crée un jet de molécules en direction du substrat ; on peut ainsi réaliser couche par couche des structures très complexes telles que les super réseaux, les diodes laser, les transistors à forte mobilité d'électron (HEMT). On obtient ainsi une très grande précision de croissance, des jonctions très abruptes, mais cette opération est très lente et ne concerne qu'un seul substrat à la fois. La vitesse de croissance est de l'ordre de 1nm par minute. Cette technique est donc très coûteuse et ne concerne que des dispositifs à très forte valeur ajoutée.

Ce système ultravide, 10^{-10} Torr, permet tous les contrôles et les caractérisations *in-situ* dont les principes nécessitent un vide poussé : diffraction d'électrons, spectroscopie Auger, ESCA (XPS ou UPS), diffraction des rayons X, etc... On peut ainsi, en permanence, vérifier la cristallinité du cristal en cours de croissance.

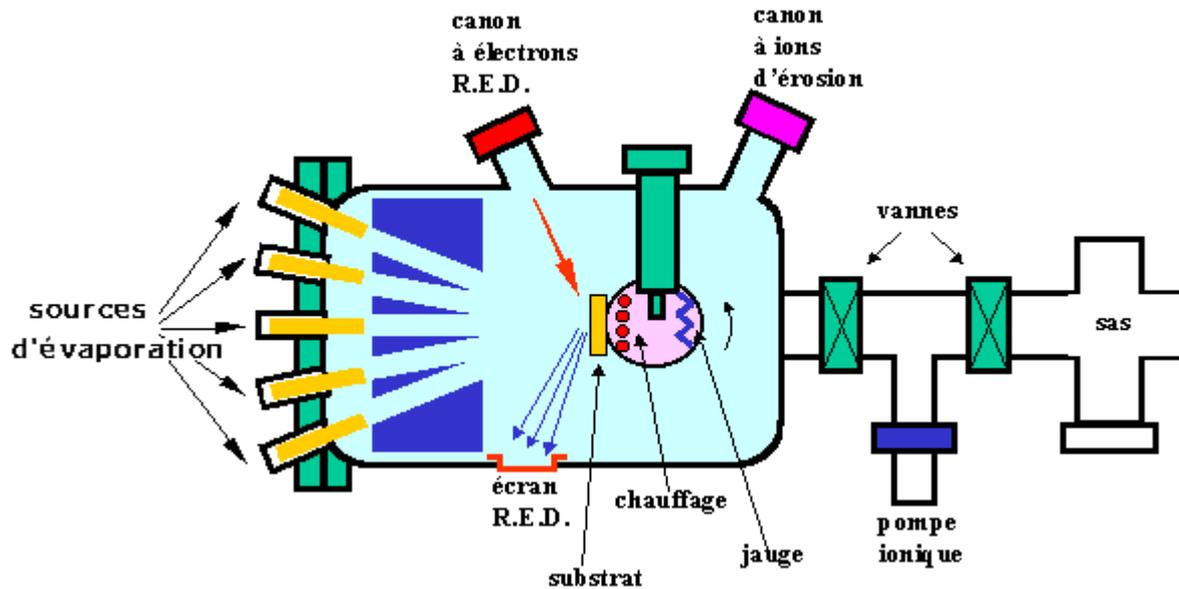


Figure 2 : Bâti d'épitaxie par jet moléculaire, EJM, ou Molecular Beam Epitaxy, MBE (d'après D.V Morgan et K. Board).

L'épitaxie en phase liquide

Cette technique consiste à faire croître le cristal par la mise en contact du substrat avec une source liquide. C'est le même principe que le tirage d'un lingot par la méthode Czochralski. Il faut bien contrôler les échanges thermiques pour éviter de liquéfier le cristal existant. Cette méthode présente l'avantage d'être très rapide, la vitesse de croissance peut être de l'ordre du micron par minute mais bien sûr n'a pas du tout la même précision que l'EJM.

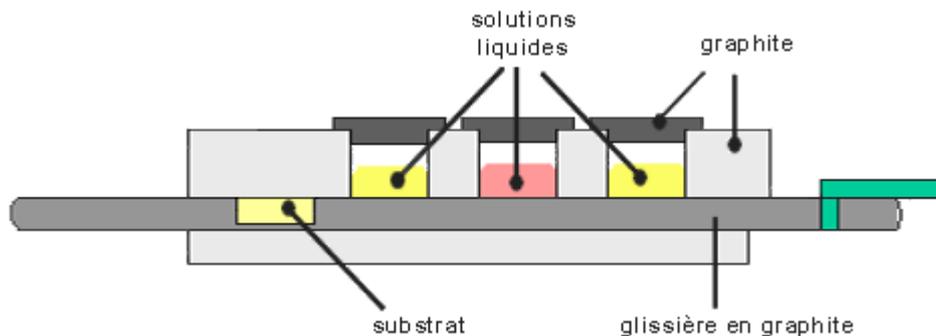


Figure 3: Dispositif multibain d'épitaxie en phase liquide. Les solutions peuvent être de matériau ou de dopage différents pour

réaliser une hétéroépitaxie (par exemple un hétérotransistor bipolaire).

L'épitaxie en phase vapeur (VPE ou CVD)

Cette opération consiste à faire croître le cristal à partir de sources de gaz contenant les éléments dopants. Dans le réacteur, les gaz se dissocient pour fournir par exemple le silicium qui se dépose à la surface des plaquettes. Pour assurer une bonne croissance ces dernières sont chauffées. Nous verrons dans la suite que suivant la température de croissance, les réactions mises en jeu sont très différentes et qu'elles peuvent même conduire à des effets négatifs. Il faudra donc aussi contrôler les équilibres chimiques par injections de gaz résultant de la décomposition de la source. Nous allons donner, ci-dessous, plus d'information sur ces différentes réactions.

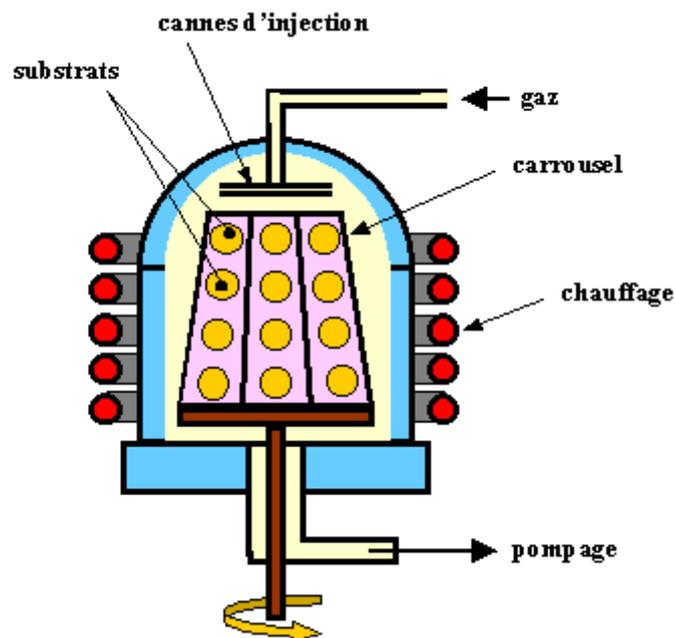


Figure 4 : Banc d'épitaxie en phase vapeur. Les gaz injectés contiennent en général du trichlorosilane, du HCl et de l'hydrogène.