

Comment naissent les puces électroniques ?

Fabrication de micro et nano composants dans la salle blanche

Démonstrateurs : Pierre-François Calmon, Laurent Mazenq, Monique Dilhan, Véronique Conédéra, Stéphane Aouba

Référent : Hugues Granier

Description : Cette visite exceptionnelle vous permettra de découvrir les différentes étapes et les équipements utilisés pour la fabrication des circuits intégrés encore appelés puces électroniques présentes dans de multiples appareils de la vie courante (voitures, ordinateurs, consoles de jeu vidéo, téléphones mobiles, etc.)

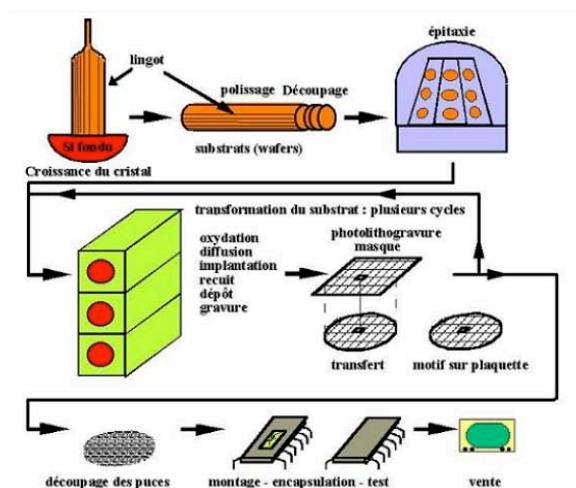
Après avoir enfilé la tenue réglementaire, vous allez parcourir les différentes zones de la salle blanche, un environnement strictement contrôlé (poussière, température, humidité, lumière) afin d'éviter toutes contaminations particulaire et lumineuse.

Fabriquer une puce électronique, c'est réaliser sur quelques centimètres carrés de surface et quelques microns d'épaisseur un assemblage d'une multitude de composants interconnectés ; simultanément, pour des centaines d'exemplaires identiques. A l'échelle d'une puce, un minuscule grain de poussière représente un rocher qui bouche les chemins dédiés à la circulation des électrons qui transmettent le signal donc l'information. C'est pour cela que la fabrication a lieu en « salle blanche ». L'air est constamment renouvelé et filtré. Il contient 100 000 à 1 million de fois moins de poussières que l'air extérieur. Les opérateurs portent en permanence une combinaison qui les couvre presque des pieds à la tête, et retient les particules qu'ils génèrent naturellement. C'est principalement sur des plaquettes de silicium que ces puces électroniques sont réalisées. Mais on travaille également sur d'autres matériaux comme les métaux, des polymères, du diamant, des matériaux qui émettent de la lumière, etc.

Etapes préliminaires (avant la salle blanche)

– Fabrication des plaquettes de Silicium

Extrait du sable par réduction, le silicium est cristallisé sous forme de barreaux de 20 ou 30 cm de diamètre, ensuite sciés en tranches de moins d'un millimètre d'épaisseur qui sont polies jusqu'à obtenir des surfaces lisses à 0,5 nanomètre près. C'est sur cette tranche de silicium appelée substrat (ou wafer) que des centaines de puces sont fabriquées simultanément, grâce à la répétition ou la combinaison d'opérations élémentaires : traitement thermique, dépôts, photolithographie, gravure et dopage... Au total ce sont peuvent être plus de 200 opérations qui se succèdent pour aboutir à la naissance de la puce électronique. Cette étape est réalisée par des industriels spécialisés.



– Fabrication des plaquettes de matériaux par épitaxie

Une autre technique de croissance est utilisée pour des matériaux très spécifiques, l'épithaxie.

L'épithaxie 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 obtenu dans l'étape précédente comme germe cristallin de croissance et à faire croître la couche par un apport d'éléments constituant la nouvelle couche.

Il existe plusieurs techniques permettant d'obtenir cette épithaxie, celle utilisée pour les wafers est l'épithaxie par jet moléculaire. Cette technique consiste à envoyer des ions à la surface d'un substrat dans un vide très poussé afin d'éviter tout choc ou contamination sur le parcours. Le principe est l'évaporation sous vide par chauffage. Par le contrôle des cellules d'évaporation, on crée un jet de molécules en direction du substrat. On obtient ainsi une très grande précision de croissance, des jonctions très abruptes, mais cette opération est très lente. La vitesse de croissance est de l'ordre de 1 nano mètre par minute. Cette technique est donc très coûteuse et ne concerne que des dispositifs à très forte valeur ajoutée.

Etape 1 – Fabrication des masques

Classiquement, la fabrication d'un circuit électronique utilise une série de masques, support en verre sur lequel sont réalisés des motifs opaques. Selon la complexité du circuit intégré, il peut y avoir jusqu'à une vingtaine de couches. Le masque de chaque couche est identique à un négatif photographique, il est obtenu en "taillant" au laser une couche de chrome déposée préalablement sur une plaque de quartz d'une extrême pureté. Chaque couche correspond à un schéma électronique

Ensuite le substrat enduit avec une résine sensible à des rayonnements est exposé (rayonnement ultra-violet, rayons X, électrons, selon les méthodes) à travers chacun de ces masques. Le puissant rayonnement dégrade le matériau, reproduisant le motif du masque, comme une véritable gravure. Cette technique, appelée lithographie, permet ainsi de dessiner en plusieurs étapes le circuit à réaliser.

Etape 2 – Photolithographie

Etape-clé, elle consiste à reproduire dans une résine photosensible le dessin des circuits à réaliser. Cette résine est déposée sur le silicium. La lumière d'une source lumineuse de très faible longueur d'onde (UV ou inférieure) y projette l'image d'un masque. Avec cette technique nous atteignons des résolutions de l'ordre du micron ou inférieures au micron selon la nature de l'équipement utilisé.

Etape 3 – Lithographie électronique

La technique est identique à la photolithographie mais le rayonnement optique est remplacé par un faisceau électronique et les résines photosensibles par des résines électro sensibles. Par cette technique nous pouvons atteindre des résolutions nanométriques

Etape 4 – Croissance et dépôt de films minces

Dans des fours portés à très haute température nous injectons des gaz spécifiques. Par réactions chimiques entre les gaz et les substrats, réactions activées par la haute température, nous faisons croître de nouveaux matériaux tels l'oxyde ou le nitrure de silicium. Les équipements permettent également de « recuire » des matériaux déposés par ailleurs.

Etape 5 – Electrochimie

Par cette technique nous faisons croître des couches épaisses (jusqu'à plusieurs dizaines de microns) d'or, de cuivre et d'alliages magnétiques.

Etape 6 – Métallisation

Il s'agit du dépôt de couches fines (inférieures à 2 micromètres) de matériaux ultra purs. Ces dépôts se font dans des machines maintenues constamment sous vide. Le principe du dépôt repose sur la condensation sur le substrat d'un matériau préalablement évaporé. Réservé pendant longtemps au dépôt des métaux cette technique s'ouvre maintenant à de nouvelles applications (matériaux piezo électriques, polymères, etc.)

Etape 7 – Gravures plasma et humide

A l'inverse du dépôt, la gravure enlève de la matière à la plaquette, toujours dans le but de réaliser un motif. Deux voies principales : la gravure dite «humide», qui utilise des réactifs liquides, et la gravure sèche (ou gravure plasma) qui emploie des réactifs gazeux.

Etape 8 – Chimie

La zone de chimie permet des nettoyages de très haute pureté des plaquettes. Il est également possible de réaliser des opérations de gravure humide spécifiques ; ou de faire des traitements qui vont permettre l'adhérence des futurs matériaux qui vont être déposés.

Etape 9 – Implantation ionique

Cette étape a pour but de charger électriquement des zones très localisées de matériau semi-conducteurs on parle de "dopage". Les ions de dopant sont implantés verticalement dans la surface du silicium par un faisceau d'ions de haute pureté accéléré par des tensions pouvant atteindre 200 000 Volts...

Etape 10 – Assemblage

Après l'ensemble des opérations de création de couches actives, un substrat comportant de nombreux circuits identiques doit être découpé. Ensuite chaque puce élémentaire sera montée sur un support (boîtier). Enfin, après soudure des liaisons composant - pattes de sortie, le composant sera encapsulé.

Etape 11 – Caractérisation : inspection du wafer

Il s'agit d'une étape critique du processus global de fabrication du wafer. En effet à chaque étape du processus de fabrication, il doit être inspecté minutieusement à l'aide de d'appareils particulièrement coûteux comme par exemple des MEB (microscope électronique à balayage).

Durée de la démo : 45-50 min avec Q/R

Plan