

Fabrication d'un processeur

Ce document va vous permettre de comprendre comment sont fabriqués les processeurs en vous montrant les différentes étapes de fabrication d'un composé CMOS (Complementary Metal Oxyd Semiconductor) utilisé par les processeurs. Il faut tout d'abord savoir que la fabrication d'un processeur se prépare longtemps à l'avance. On pourrait croire que toute la conception et la fabrication d'un processeur se font 1 an à l'avance mais il n'en est rien. Il est possible que les premières étapes de la conception se fassent 10 ans avant la date finale de lancement du produit.

- Jusqu'à 10 ans avant la mise en production d'un processeur, une équipe se charge de mettre au point de nouvelles technologies. Cela peut se faire de plusieurs manières :
 1. En optimisant les technologies actuelles.
 2. En ajoutant de nouvelles instructions.
 3. En cherchant de nouveaux algorithmes.

Si les nouvelles technologies conçues par l'équipe sont trop avancées dans le temps, elles ne seront pas utilisées tout de suite, mais les idées générales sont conservées pour de futurs processeurs. A l'inverse, si ces techniques conviennent pour le constructeur, elles seront utilisées pour la réalisation du processeur.

- Nous avons vu qu'un processeur dispose d'une architecture interne. Concevoir toute une architecture coûte très cher, c'est pourquoi le fabricant de microprocesseurs décide de fixer cette architecture pour les futurs processeurs pendant X temps. L'architecture P6 a ainsi longtemps été utilisée par Intel (elle a duré plus de 10 ans avant d'être remplacée par l'architecture NetBurst du Pentium 4). Ainsi, pendant X temps, les mises à jour ou les nouveaux processeurs utiliseront cette architecture. Étant donnée l'évolution très rapide du monde informatique, concevoir une architecture est une étape risquée (souvenez-vous du Pentium 4 qui devait dépasser les 4 GHz très facilement...)
- Une fois l'architecture choisie, il s'agit maintenant de développer le processeur. Et oui, un processeur est avant tout un programme informatique, qui ne sera réalisé "en dur" qu'une fois ce programme fini. Il y a plusieurs équipes qui participent à la conception d'un processeur (chaque équipe peut ainsi s'occuper d'une unité ou d'une zone bien précise). Une fois les zones écrites, on les assemble et on teste le processeur virtuel sur des simulateurs. Des vérifications poussées permettent de s'assurer qu'il n'y a pas d'erreur (ce qui pourrait avoir des conséquences fâcheuses pour le fabricant).
- Une fois le programme réalisé, il faut le convertir en structures logiques (transistors interconnectés, portes logiques...). On vérifie ensuite toute la structure pour s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble.
- Toute cette structure est ensuite convertie en plans physiques appelés masques. Un masque est une image en noir et blanc taillée au laser sur une couche de chrome déposée sur du quartz pur. Un processeur est composé de plusieurs couches. Les couches basses accueillent les transistors et les couches hautes accueillent les interconnexions reliant les transistors. Il faut au moins un masque pour chaque couche (il en faut généralement plusieurs). Les processeurs récents nécessitent environ 25 masques.

Une fois ceci fait, on va pouvoir commencer à réaliser le processeur. Il faut pour cela une plaque appelée wafer (sur le wafer seront gravés plusieurs processeurs à la fois étant donné qu'un wafer a des dimensions les plus importantes possibles pour diminuer les coûts de production). Ce wafer est réalisé à partir de silicium.

Voici la légende que nous utiliserons durant ce document :



Tout d'abord, la pureté du wafer n'est souvent pas suffisante pour les derniers processeurs. On dépose donc une fine couche de silicium très pur par un procédé appelé épitaxie. La fine couche de silicium déposée s'appelle l'épi-couche.



On chauffe ensuite le wafer. Une couche d'oxyde va alors se former sur sa surface. On dépose ensuite une couche de vernis photosensible. On utilisera ensuite le premier masque : là où le masque laisse passer la lumière, le vernis sera brûlé.



Le vernis est brûlé là où le masque laisse passer la lumière. On appelle cela la photolithographie.



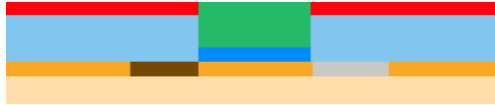
L'oxyde est un élément qui sera souvent modifié pendant la fabrication. Ici, nous devons atteindre l'épi-couche et donc enlever l'oxyde là où a été enlevé le vernis. Pour ce faire, on réalise une excavation au plasma (on envoie un flux de plasma sur le wafer).



On envoie ensuite un flux d'ions sur le wafer. On appelle ce processus le dopage. Cette technique va permettre de créer des zones chargées (appelées collecteur et émetteur, l'émetteur émet les électrons). La distance entre le collecteur et l'émetteur est en fonction de la finesse de gravure du processeur. (0.13 micron ou encore 90 nm par exemple). L'émetteur et le collecteur sont les bornes d'un transistor et laissent ou non passer le courant à la manière d'un interrupteur. On enlève ensuite la couche de vernis.



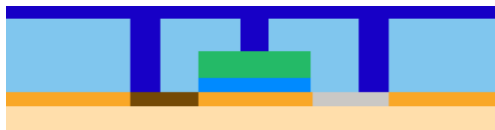
On répète ensuite les opérations consistant à déposer une couche d'oxyde surmontée d'une couche de vernis. On utilise un nouveau masque pour fabriquer les grilles des transistors. On dépose une couche d'isolant très fine (1.2 nm chez Intel pour le prescott 90 nm) qui permettra de laisser passer le champ magnétique créé par la variation du courant traversant la porte logique mais pas le courant. Ce champ magnétique permettra au signal de passer entre l'émetteur et le collecteur. Plus l'isolant est mince et plus rapide est la commutation du transistor. Cependant, un isolant trop mince entraîne des courants de fuite (appelés leakage) qui augmentent la consommation et la température du processeur.



On répète encore les étapes qui sont de déposer une couche d'oxyde surmontée d'une couche de vernis. On crée ensuite un nouveau masque destiné aux interconnexions des transistors. Ces interconnexions se font généralement en cuivre ou en aluminium.



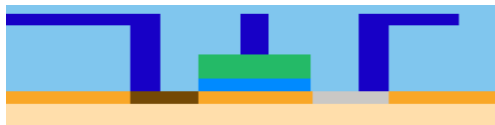
Après avoir retiré le vernis, on remplit les trous de cuivre (ou d'aluminium) pour réaliser les interconnexions.



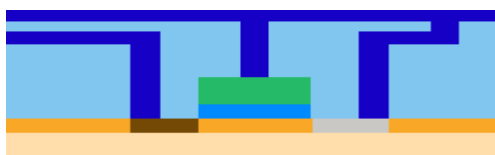
On dépose une couche de vernis et on utilise un nouveau masque pour dégager les zones où le métal doit disparaître. On utilise encore un flux plasma qui ne s'attaque plus à l'oxyde cette fois-ci.



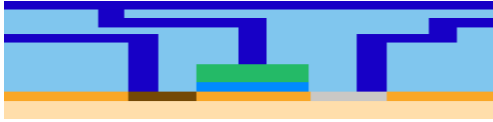
On applique une couche d'oxyde polie.



On dépose du vernis et on utilise encore un nouveau masque pour dégager les zones de liaisons entre deux niveaux d'interconnexions. On remplit ensuite les interconnexions.



On répète les opérations qui consistent à appliquer une couche de vernis, brûler une partie de cette couche avec le métal constituant les interconnexions pour appliquer ensuite de l'oxyde, puis une couche de vernis suivie d'un nouveau masque. On remplit ensuite encore les interconnexions, et ainsi de suite un certain nombre de fois (7 chez Intel et 9 chez AMD).



On inspecte ensuite les Wafers à l'aide de microscopes à Balayage. Le wafer est ensuite placé sur un appareillage permettant de tester tous les processeurs présents sur un Wafer en une seule fois. Les blocs de cache sont aussi testés et peuvent le cas échéant si une partie de ces blocs est défectueuse, servir dans des processeurs de gamme inférieure.

Les erreurs étant courantes, des circuits redondants permettent de les éviter au maximum. On évite ainsi de désactiver le cache quand c'est possible.

Les puces sont ensuite découpées. Elles sont prêtes à être assemblées. On place les puces dans ce qu'on appelle le packaging (qui sert de lien entre le die (core) et l'extérieur, à savoir la carte-mère via le socket).

Le processeur est ensuite utilisable. Il va être une nouvelle fois testé pour déterminer sa fréquence maximale de fonctionnement (avec une marge d'erreur, c'est sur cette marge que l'on joue lorsqu'on pratique l'overclocking de son processeur). On marque ensuite le CPU en indiquant ses spécifications.

Le processeur est ensuite fin prêt à la vente.