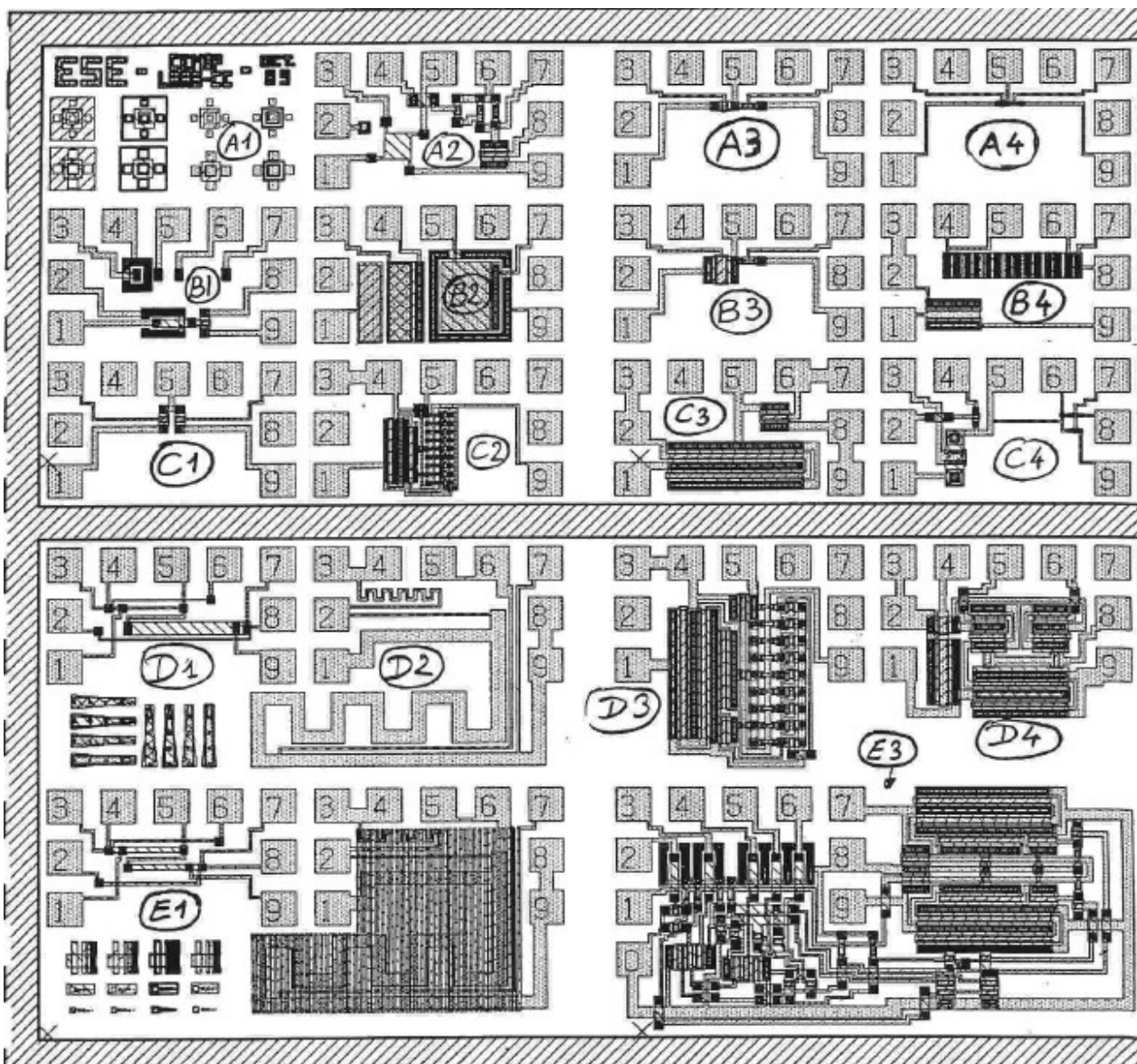


TP en salle blanche

Objectif

On se propose de réaliser plusieurs exemplaires du layout suivant sur des wafers. L'objectif du TP étant de mettre en application concrètement les diverses étapes de fabrication d'un circuit intégré. Les éléments qui servent de référence sont les composants C3. Il s'agit de deux transistors NMOS dont un transistor interdigité.



Vocabulaire

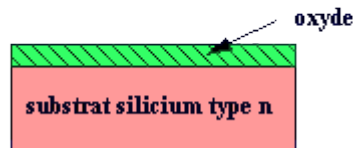
Photolithogravure : c'est le procédé de transfert d'un motif depuis le masque vers la plaquette.

Découverte de l'environnement

Nous arrivons dans la salle blanche le premier matin. Nous nous divisons en deux équipes de quatre disposant de 5 wafers chacune.



Les wafers récupérés sont de substrat Silicium dopé P. Ils sont recouverts uniformément d'une couche d'oxyde épais. La première phase d'oxydation (SiO_2) a donc déjà été effectuée.

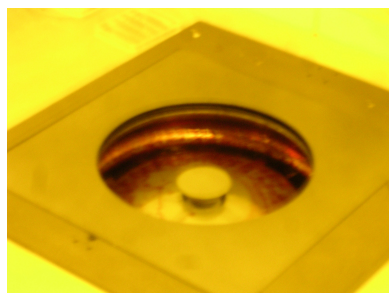


Préparation à la diffusion N+

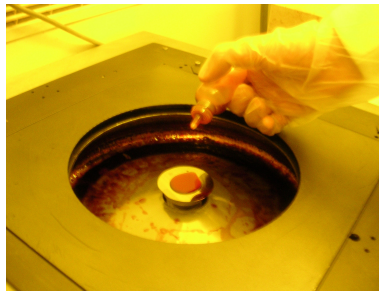
Afin d'implanter les plots N+ du drain et de la source, nous devons dégager ces zones. Nous procédons donc à une première étape de photolithogravure.

Photolithogravure

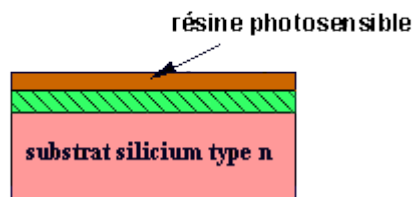
La première étape de la photolithogravure est de déposer uniformément de la résine sur le wafer à l'aide d'une tournette. Afin d'améliorer l'adhérence de celle-ci, nous déposons préalablement sur la plaquette une substance chimique qui a pour but d'éliminer toutes traces d'humidité ou de saleté : le promoteur d'adhérence.



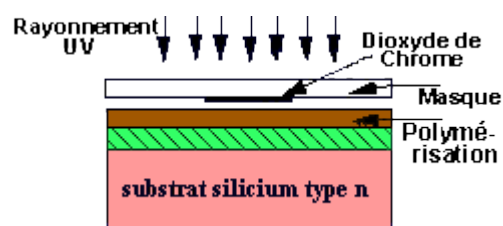
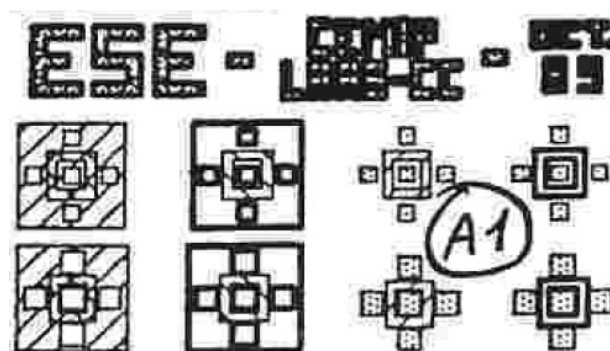
Immédiatement après cette étape, nous procédons au dépôt de la résine à l'aide de la tournette. Le contrôle de sa vitesse permet d'assurer une homogénéité stable de l'épaisseur de résine déposée ($1,2\mu\text{m}$).



Il faut ensuite éliminer les solvants et polymères des plaquettes à l'aide d'une plaque chauffante réglée à 120°C .



Les plaquettes sont alors prêtes à être positionnées sous le masque pour le transfert du motif : l'insolation. Le positionnement du wafer sous le masque est une étape cruciale qui requiert beaucoup de précision. L'alignement est effectuée avec un microscope à deux points d'observation. Une moitié de l'observation cible une zone du wafer et l'autre moitié une zone similaire (motif identique) mais éloigné de la première. Cette particularité assure un alignement idéal du wafer sous le masque. Une fois l'alignement (X, Y, et Theta) validé à l'aide des motifs d'alignement, nous pouvons procéder l'insolation. Comme nous utilisons une résine positive, les motifs seront transférés directement sur les wafers.



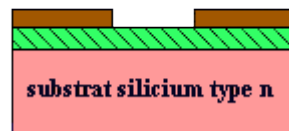
Une fois l'insolation terminée, on procède à la révélation de la résine dans un

bain chimique approprié. La résine insolée est évacuée du wafer. Des opérations de rinçage et de séchage sont ensuite nécessaires avant de cuire la résine restante à 130°C.



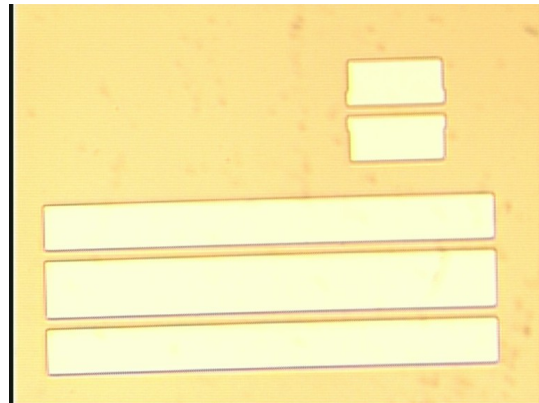
Cette dernière opération permet de rendre la résine insensible à l'attaque chimique utilisée pour la gravure de l'oxyde.

Un passage à la binoculaire permet d'observer les ouvertures dans la résine donnant accès directement à l'oxyde épais (zones vertes) des drains et sources. C'est dans ces accès que se fera la gravure de l'oxyde. Les zones marrons sont toutes les zones couvertes de résine durcie qui ne seront pas graver



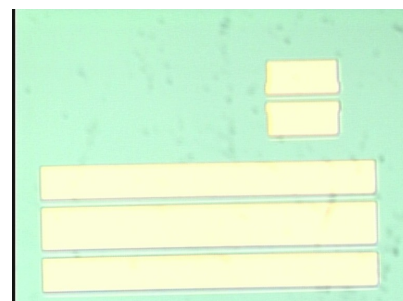
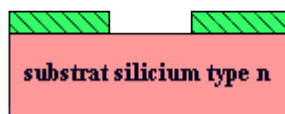
Nous pouvons maintenant procéder à la gravure de l'oxyde épais à l'aide de l'acide fluorhydrique. Cette étape est précédée d'un bain aux ultrasons **???pour activer mécaniquement la structure de l'oxyde????**. On passe immédiatement à l'attaque par la solution HF. Il est facile de savoir quand tout l'oxyde a été gravé grâce au démouillage. En effet, le SiO_2 est hydrophile (l'eau se fixe dessus et ne coule pas) alors que le Si est hydrophobe (l'eau ne se fixe plus dessus et coule). En observant la face arrière des wafers qui a été aussi oxydé, on peut aisément observer le phénomène de démouillage lorsque toute les

particules d'eau glissent dessus. La gravure est alors terminée. Nous procédons à un rinçage et un séchage pour une nouvelle observation à la binoculaire.

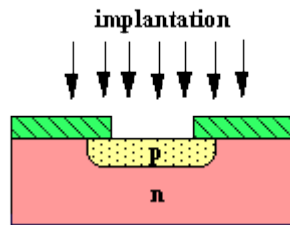


Les zones de couleurs blanche correspondent aux zones qui ont été gravées par le HF. Les zones marrons qui sont toutes les zones protégées par la résine durcie sont restées intactes. On peut mesurer à l'alpha-step une profondeur de $1,675\mu\text{m}$ au niveau du Si. En effet, nous avons retiré $0,5\mu\text{m}$ d'oxyde et il reste encore $1,12\mu\text{m}$ de résine en surface.

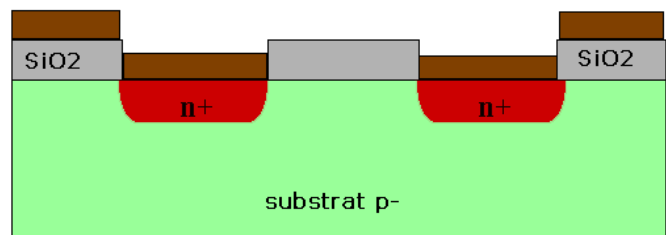
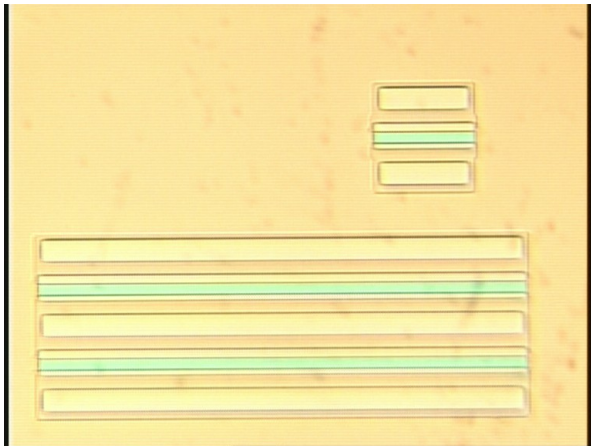
Afin de supprimer toute la résine inutile, on procède à un lavage des wafers dans le remover.



L'oxyde épais se retrouve à nu (zones bleus). Une vérification à l'alpha-step donne des trous d'une profondeur de $0,5\mu\text{m}$ ce qui correspond à l'épaisseur d'oxyde épais. L'étape suivante consiste à diffuser les plots N+ de drain et de source. Cette étape n'a pas été effectuée. Nous avons directement récupéré des wafers diffusés au phosphore.

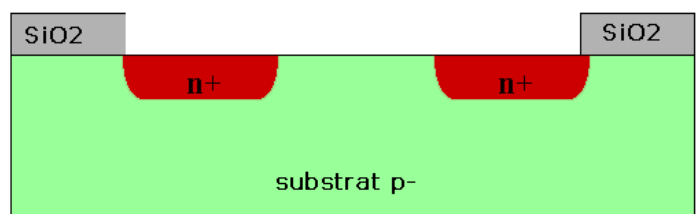
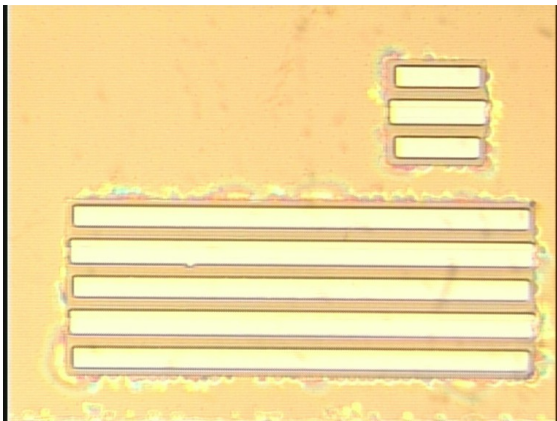


Nous faisons la photolithographie d'ouverture de zone de canal et on obtient la figure suivante:



En bleu on trouve le canal sur lequel la résine a été développée (il y a donc de l'oxyde épais). Le marron correspond à la résine qui a été durcie pour résister à l'attaque.

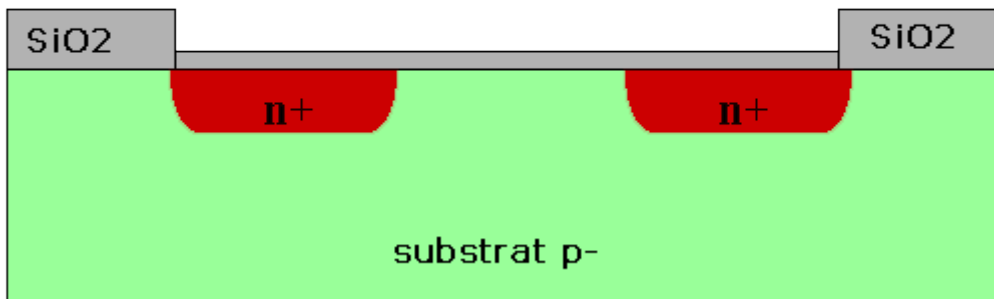
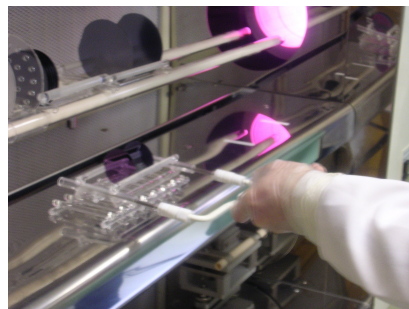
On effectue ensuite la gravure de l'oxyde épais et on aboutit à la figure suivante :



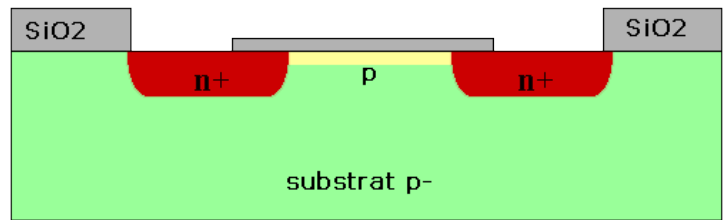
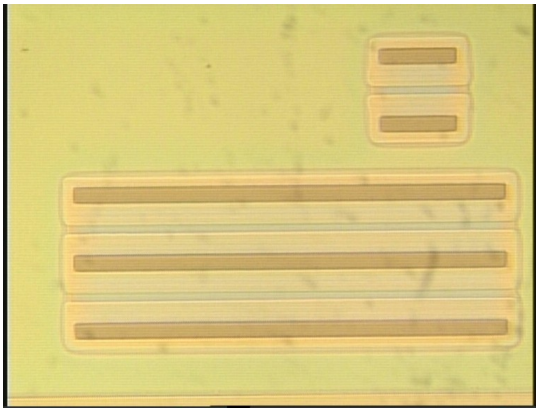
Avant de passer les wafers au four pour réaliser l'oxydation fine de la grille, il est nécessaire de procéder à une étape de nettoyage des impuretés. On plonge successivement les wafers dans un bain de HF (pour le décapage), puis d'acide chlorhydrique concentré immédiatement suivi d'un nettoyage à l'eau. Cette étape permet la création d'une couche d'oxyde pour absorber les impuretés. On procède à nouveau à un décapage dans un bain de HF pour éliminer cette oxydation. Chacun des bains est séparé d'une phase de rinçage pour lesquelles la résistivité de l'eau (dé-ionisée) doit remonter à 15 Mohms.

Une fois les wafers nettoyés, nous pouvons les mettre au four pour réaliser l'oxydation fine de la grille. Les wafers sont alignés les uns derrière les autres

sur un support. Pour que les wafers bénéficient tous d'un environnement homogène, des wafers fantômes sont placés aux extrémités. Un flux continu d'azote tourne dans le four afin de ne pas polluer l'air intérieur. Ce flux s'intensifie à l'ouverture pour ne pas laisser rentrer d'impuretés. Une rampe de 800° à 1050° a lieu dans un premier temps. Ensuite la température est stabilisée pendant l'oxydation qui se fait uniquement sur le Si et pas l'oxyde épais. Une rampe descendante permet d'atteindre 800°, température à laquelle le procédé est arrêté. Il faut ensuite attendre le refroidissement jusqu'à 450° pour extraire les wafers du four.

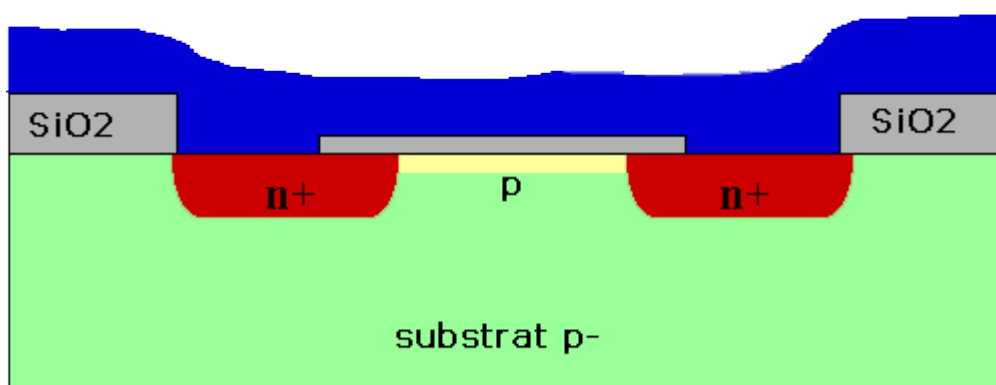


Une étape de photolithogravure est ensuite nécessaire pour éliminer l'oxyde mince de grille présent en dehors de la grille. Le procédé est le même que celui qui a été suivi en première étape (gravure d'oxyde). Seuls les masques utilisés sont différents.



Les zones marrons correspondent à l'oxyde de grille présent sur les drains et sources qui va être supprimé afin d'obtenir le schéma de droite.

Il faut maintenant couvrir les plaquettes d'aluminium pour créer les contacts. Ce processus se fait en 2 temps. D'abord il faut éliminer la couche d'alumine présent sur la plaque d'aluminium de l'appareil. Ensuite à l'aide d'un puissant faisceau d'électrons, on arrache des particules de la plaque d'aluminium nettoyée de son alumine qui viennent se déposer sur les wafers.

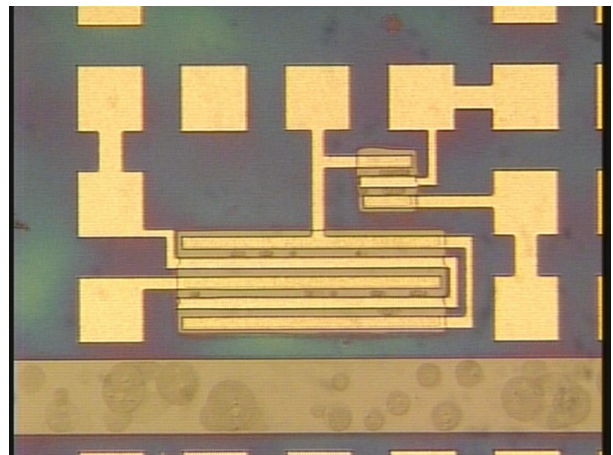
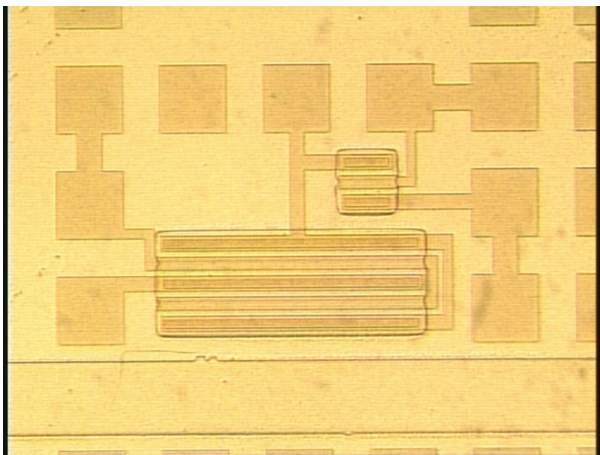


Pour terminer le process, il faut une dernière lithogravure sur la couche

d'aluminium. Le procédé d'insolation est plus complexe car la totalité de la plaque est recouverte d'aluminium. Les motifs d'alignement sont donc beaucoup plus difficiles à ajuster.



La gravure de l'aluminium est semblable à celle de l'oxyde. Les produits chimiques utilisés sont différents et propre à l'aluminium. Les réactions plus violentes peuvent conduire à des mouvements intempestifs des plaquettes dans les bains lorsque l'aluminium se dégage. Avant removal on aboutit au résultat suivant :



Une dernière étape de remove, rinçage et de séchage conduit au résultat de droite :

