



**HAL**  
open science

# Mode opératoire de l'équipement AML (AWB04) pour la soudure anodique

Samuel Charlot

► **To cite this version:**

Samuel Charlot. Mode opératoire de l'équipement AML (AWB04) pour la soudure anodique. Rapport LAAS n° 15167. 2015. hal-01869373

**HAL Id: hal-01869373**

**<https://laas.hal.science/hal-01869373>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



LAAS-CNRS

# Mode opératoire de l'équipement AML (AWB 04) pour la soudure Anodique

Mai 2015

Auteurs : Samuel Charlot

# Contenu

---

Contenu .....	1
Préambule.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Le scellement anodique : .....	3
Le scellement direct : .....	3
Le scellement de substrat avec couche intermédiaire : .....	4
Scellement eutectique : .....	4
Scellement adhésif : .....	4
Scellement métallique : .....	4
Scellement glass frit : .....	5
Préparation des substrats .....	6
Nettoyage privilégié pour la soudure anodique : .....	6
Nettoyage privilégié pour la soudure par fusion : .....	7
Mode opératoire AML .....	8
Mise en route : .....	8
Ouverture de la session : .....	8
Chargement des plaques : .....	9
Lancement du programme : .....	10
Nom du lot : .....	10
Vide de l'enceinte : .....	10
Chauffage des plateaux : .....	10
Alignement des plaques : .....	11
Application de la force : .....	12
Application de la Tension : .....	12
Fin de procédé .....	13

# Résumé

---

La machine AML (AWB 04) est utilisée pour l'alignement et le scellement de substrats que l'on retrouve lors de la fabrication de dispositif MEMS ou MOS par exemple. Cet équipement permet de sceller des substrats de différentes nature et tailles (max 4 pouces) de manière permanente ou temporaire en début ou fin de procédé. Les différentes techniques de scellement disponible sont le scellement anodique, par contact direct, l'utilisation de couches intermédiaires comme des adhésifs, du glass frit, des métallisations pour la thermocompression, l'eutectique ou la refusion de pâte à brasser.

L'équipement permet l'alignement in situ en lumière visible (précision  $1\mu\text{m}$ ) et infra rouge (précision  $10\mu\text{m}$ ). Les applications sont nombreuses. Parmi les plus courantes au laboratoire, on trouve l'encapsulation sous vide pour la réalisation de capteurs de pression, l'intégration verticale de puces, les bioMEMS et les interconnexions TSF.

Dans une première partie, ce rapport va présenter les principes des différentes techniques qu'il est possible de réaliser.

Le deuxième chapitre insistera sur un point essentiel des techniques de scellement ; la préparation de surface.

Enfin la dernière partie donnera le mode opératoire du bonder AML disponible au LAAS

# Les techniques de scellement

## Le scellement anodique :

La soudure anodique permet de sceller de façon définitive un substrat en verre borosilicate dopé en sodium avec un substrat en silicium (oxydé ou non), à une température comprise entre 300 et 500°C, sous vide, en appliquant une légère pression mécanique et une tension continue de plusieurs centaines de volts.

Dans cette gamme de température les coefficients de dilatation du verre et du silicium sont proches et minimisent l'apparition de contraintes mécaniques à l'interface des deux matériaux. L'application d'un champ électrique entre l'anode (silicium) et la cathode (verre) ainsi que l'application d'une température fait migrer les ions  $\text{Na}^+$  du verre vers la cathode, créant ainsi une zone de déplétion entre les surfaces de silicium et de verre. La zone de déplétion côté verre est saturée en ions  $\text{O}^{2-}$  qui se recombinent à l'interface avec les ions  $\text{Si}^{4+}$  du côté silicium pour former du  $\text{SiO}_2$ .

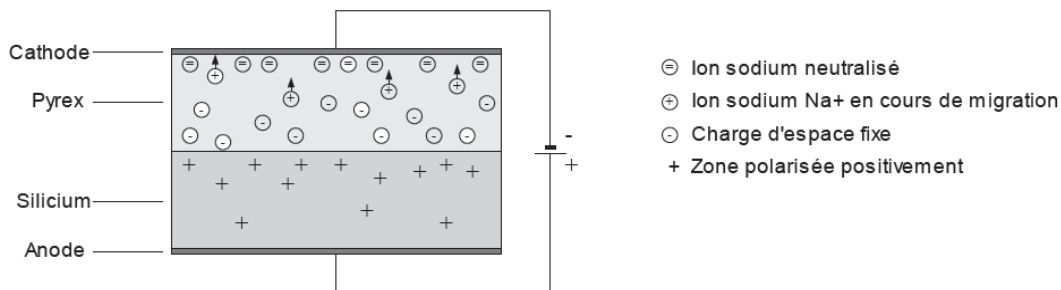


Fig. 1 : Schéma de principe de la soudure anodique

Le scellement obtenu est fort avec des forces de rupture en pull test supérieure à 30MPa. Ce type de scellement garantit une très bonne herméticité pour la fabrication de dispositif fluide ou de capteurs de pressions.

Les différents substrats de verre pouvant être utilisés pour la soudure anodique sont de type borofloat de chez Corning, Hoya, Pilkington ou Schott.

## Le scellement direct :

Le collage direct permet un collage temporaire ou permanent entre deux substrats de nature identique ou différente. Les matériaux les plus utilisés sont le Si, SiO, GaAs, GaN, InP.

Le principe est de réaliser une mise en contact forte des deux substrats grâce aux forces de Van Der Waals. Les deux plaques possèdent la même électronégativité, il se forme alors une liaison covalente entre les atomes d'hydrogène de la surface. Cette liaison est aussi appelée liaison faible H-H.

Ce type de scellement demande donc des exigences particulières sur la qualité de la surface des substrats. Elle doit être propre, plane et lisse.

Il existe un protocole adapté en accord avec la structure chimique de la surface suivant qu'elle est hydrophile ou hydrophobe. L'état de surface d'un wafer de silicium peut être mesuré par l'angle de contact d'une goutte d'eau se formant à sa surface. Dans le cas d'une surface hydrophile, l'angle est faible ( $<5^\circ$ ) sur la base de l'excellente mouillabilité, alors qu'une surface hydrophobe présente un angle de contact supérieur à  $90^\circ$ .

Une fois les deux plaquettes scellées elles peuvent être placées dans un four à une température supérieure à  $800^\circ\text{C}$  sous atmosphère oxydante pour obtenir un scellement définitif. Si le processus s'arrête après la mise en contact le scellement reste réversible.

Dans le cas d'une introduction dans un four l'oxygène est présent à l'interface des deux substrats oxyde le silicium, réalisant ainsi des liaisons covalentes du type Si-O-Si. La soudure qui en résulte est d'excellente qualité et d'une résistance équivalente à celle du silicium brut. Le même procédé convient pour des substrats oxydés, les liaisons Si-O-Si se faisant directement avec le silicium contenu dans les oxydes.

## **Le scellement de substrat avec couche intermédiaire :**

### **Scellement eutectique :**

Les eutectiques sont des alliages métalliques ayant une température de fusion plus basse que celle des métaux purs qui les composent.

En soudure eutectique, un métal est déposé sur un substrat. Par élévation de température on favorise l'inter diffusion entre les atomes de métal et ceux du substrat pour former un alliage avec une température de fusion inférieure à celle du métal ou du matériau du substrat.

Cette méthode a été employée avec de l'or sur du germanium ou du silicium pour former des alliages Au-Ge et Au-Si dont les températures de fusion sont respectivement  $360^\circ\text{C}$  et  $363^\circ\text{C}$ . Dans l'ensemble, les soudures eutectiques permettent des températures de travail relativement basses par rapport aux autres techniques. Elles présentent en outre l'avantage d'autoriser des surfaces non parfaitement planes. Finalement les soudures obtenues sont moins perméables aux gaz et à l'humidité que celles en polymères ou en verre (Oxyde de silicium).

### **Scellement adhésif :**

Scellement utilisant une colle intermédiaire entre deux wafers de nature identique ou différentes. Il peut être permanent ou non et utiliser des colles organique ou non. L'adhésif (colle, résine,...) peut être déposé sur une, voire les deux faces des wafers à assembler. Les résines les plus utilisées dans les applications de la micro électronique sont la SU8 et le BCB. L'avantage de ces scellements est l'utilisation d'une faible température avec des pressions modérées et l'absence de courant électrique entre des substrats de nature différentes. Le scellement réalisé est robuste mais moins hermétique que les autres soudures (fuite hermétique, dégazage, contrainte...).

### **Scellement métallique :**

La soudure par thermo-compression consiste à assembler deux plaquettes préalablement recouvertes d'une couche métallique, à appliquer une force de compression à température élevée pour obtenir un ramollissement du métal et la création de liaisons covalentes. Ce procédé nécessite des surfaces propres et chimiquement actives. Si la mise en œuvre du procédé est simple, il nécessite néanmoins des

pressions dans la gamme des 100 MPa et des températures comprises entre 200°C et 400°C. La planéité des surfaces est une condition nécessaire et la dépendance aux poussières est très forte.

### **Scellement glass frit :**

Scellement entre deux substrats de nature identique ou différente utilisant une couche intermédiaire composée de cristaux de verre déposés par sérigraphie ou tournette sur la surface d'un des deux substrats. Les deux substrats sont mis en contact à faible pression et en température (<450°C) pendant une dizaine de minutes. Les coefficients de dilatation des différents matériaux étant proches, le scellement obtenu n'est pas contraint et offre des tenues de cisaillements très élevées équivalente à la soudure anodique. Il est communément utilisé pour l'encapsulation de composants électronique de part sa bonne herméticité, sa résistance chimique et mécanique. Il est très facile à mettre en œuvre.

# Préparation des substrats

Avant toutes étapes de scellement, la flèche et la propreté des substrats doivent être vérifiées. Ceci afin de limiter les contaminations dans l'équipement et assurer un parfait contact entre les plaquettes.

## Nettoyage privilégié pour la soudure anodique :

Un nettoyage de type SC1 (oxydation en milieu basique) ou SC2 (oxydation en milieu acide) est recommandé pour éliminer les contaminations organiques et métalliques ainsi que repousser les particules pouvant gêner dans le scellement entre les deux substrats.

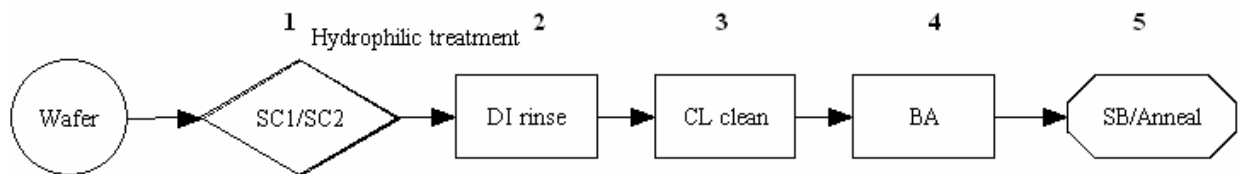


Fig. 2 : Schéma de principe d'un nettoyage anodique

Etape 1 : Nettoyage SC1 ou SC2 suivant la nature des matériaux à mettre en œuvre

SC1 :  $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:4:20$  à  $60^\circ\text{C}$  pendant 10min

SC2 :  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:4:6$  à  $60^\circ\text{C}$  pendant 10min

Etape 2 : Rinçage DI  $\text{H}_2\text{O}$

Etape 3 : Rinçage méga sons DI  $\text{H}_2\text{O}$

Etape 4 : Alignement

Etape 5 : Scellement temporaire ou permanent par passage au four.



## Nettoyage privilégié pour la soudure par fusion :

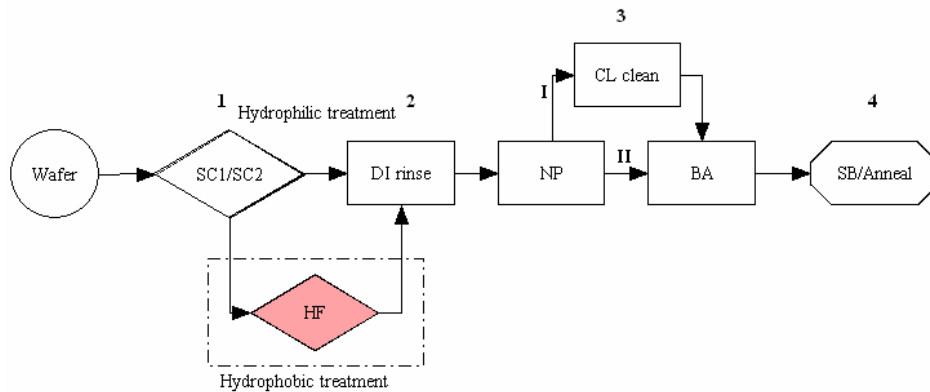


Fig.3 : Schéma de principe d'un nettoyage par fusion

Etape 1 : Nettoyage SC1 ou SC2 suivant la nature des matériaux à mettre en œuvre

SC1 :  $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:4:20$  à  $60^\circ\text{C}$  pendant 10min

SC2 :  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:4:6$  à  $60^\circ\text{C}$  pendant 10min

Etape 2 : Traitement hydrophile de la surface des substrats par HF dilué puis rinçage DI  $\text{H}_2\text{O}$

Etape 3 : Rinçage méga sons DI  $\text{H}_2\text{O}$  ou traitement plasma  $\text{O}_2$  et alignement

Etape 4 : Scellement temporaire ou permanent par passage au four.

L'activation des surfaces pour un scellement par fusion est primordiale car elle conditionne le pré scellement. Celui-ci peut être fait de manière chimique par nettoyage SC1 ou SC2 ou par plasma  $\text{O}_2$  en oxydant les surfaces, laissant en surface des groupements hydroxydes  $\text{OH}^-$  (hydrophiles). Les plaques sont alors mises en contact pour créer des liaisons hydrogènes de types Van Der Waals. L'ensemble peut ensuite être placé dans un four à haute température ( $800\text{-}1000^\circ\text{C}$ ) sous atmosphère oxydante ou azote pour créer des liaisons permanentes covalentes Si-O-Si.

Une soudure directe de plaques silicium par traitement chimique hydrophobe est aussi possible. Après oxydation du silicium pour le nettoyage des surfaces, celui-ci est ensuite plongé dans une solution de HF dilué pour obtenir une surface hydrophobe du silicium. Les plaques sont alors mises en contact par forte pression. Les liaisons créées sont de types ioniques entre l'hydrogène et le fluor. Elles évoluent au-delà de  $300^\circ\text{C}$  pour former des liaisons covalentes de types Si-Si.

# Mode opératoire AML

## Présentation de l'équipement



- Ecran de contrôle
- Enceinte de scellement
- Panneau de contrôle
- Clavier des saisies

Fig.4 : vue de la machine

## Mise en route :

Ouvrir les vannes, au nombre de 2 pour l'air comprimé et l'azote. Elles se trouvent à l'arrière de la machine (Fig.5).

RMQ : la vanne d'azote est noire, celle d'air comprimé bleue.



Fig.5 : ouverture des vannes

Allumer la jauge de mesure d'épaisseur (fig.6) en appuyant sur le bouton rouge. Allumer ensuite l'ordinateur en appuyant sur le bouton bleu (Fig.7) ainsi que la machine en appuyant sur le bouton vert (Fig.8).



Fig.6 : jauge



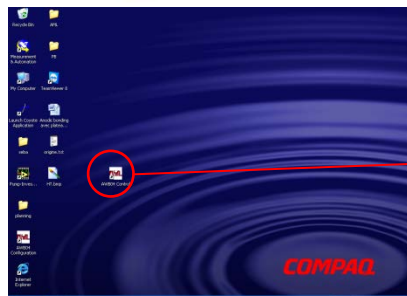
Fig.7 : ordinateur



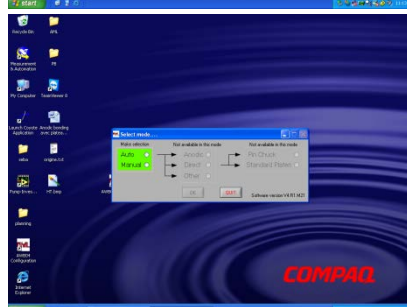
Fig.8 : mise en route machine

## Ouverture de la session :

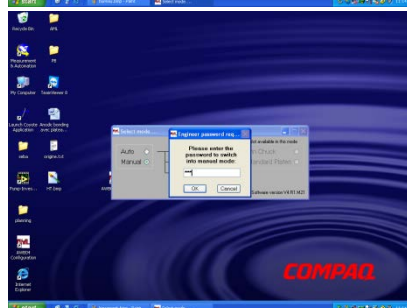
**Rq** : L'équipement AML est toujours en configuration Anodique. Si un autre mode de scellement est désiré par l'opérateur, se manifester auprès de la personne en charge de l'équipement.



Sur le bureau, lancer l'application AWB04 Control

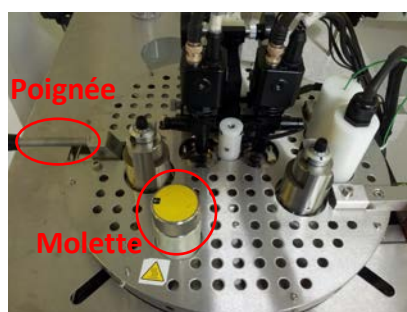


Renseigner le mode manuel, ainsi que l'opération souhaitée

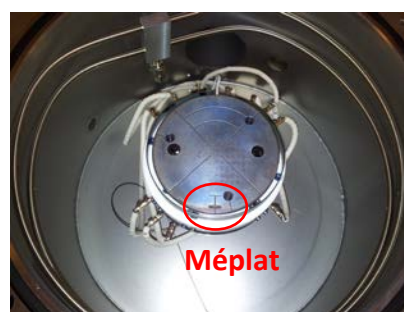


Rentrer le mot de passe donné lors de la formation puis valider

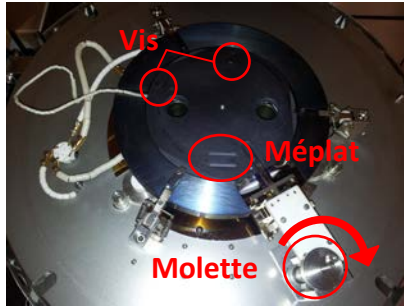
## Chargement des plaques :



Ouvrir le couvercle de la chambre à l'aide de la poignée



Insérer la plaque de silicium sur le plateau. Le méplat est repéré par une marque sur celui ci

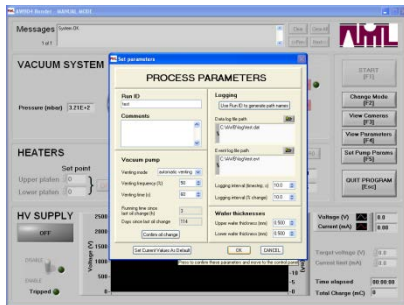


Placer le wafer en verre sur le plateau du dessus. Il faut ouvrir et maintenir la molette se trouvant sur le dessus du couvercle pour maintenir la plaque par clampage. Celle-ci est bloquée par des vis calibrées en hauteur. Le méplat est aussi repéré par une marque sur le plateau.

Refermer ensuite le couvercle.

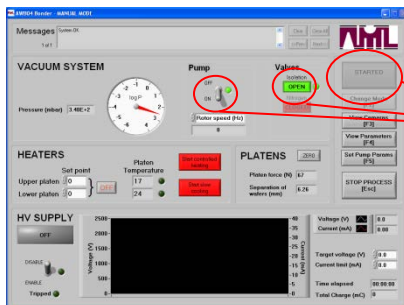
## Lancement du programme :

### Nom du lot :



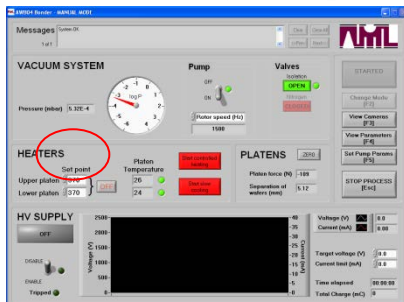
Rentrer le nom du lot et les épaisseurs des substrats à sceller.

### Vide de l'enceinte :



Appuyer sur Start pour lancer le procédé, puis sur isolation vanne et lancer le pompage de la chambre.

### Chauffage des plateaux :



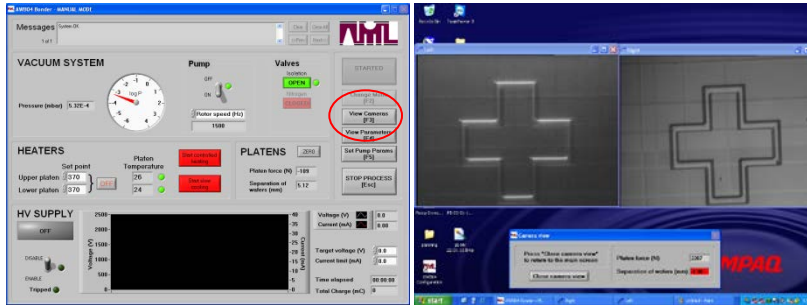
Une fois que le vide est de l'ordre de 10-2 mbar, vous pouvez rentrer la valeur de température voulue au niveau des plateaux du haut et du bas.

T°C Anodique : 370°C- 420°C

T°C fusion : 200°C- 450°C

## Alignement des plaques :

RQ : Il faut éteindre le chauffage des plateaux lors de l'alignement par IR.

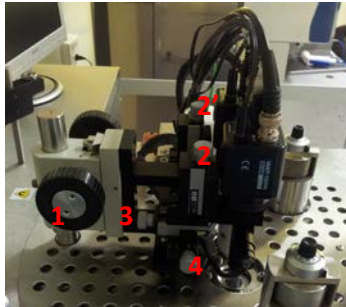


Une fois que la température est atteinte, vous pouvez aligner les plaques en contact en appuyant sur View camera.

Une image des 2 objectifs apparaît.

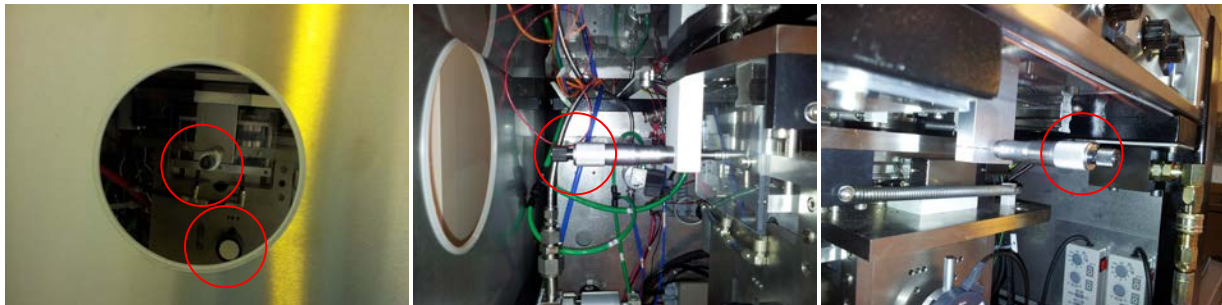


L'alignement des plaques se fait en lumière visible entre le verre et le silicium (résolution de 1  $\mu\text{m}$ ) ou en infra rouge (résolution de 5 à 10  $\mu\text{m}$ ) entre silicium et silicium. L'allumage des lampes et le réglage de l'intensité se fait grâce aux potentiostats situés en façade de la machine.



Le réglage du focus se fait au niveau des caméras situées au dessus du couvercle de la machine en jouant sur la molette 1. La mise au point de chaque objectif se fait avec les molettes 2 et 2'. Le déplacement en X, Y des objectifs se fait avec les molettes 3 et 4 respectivement.

Le plateau du haut est fixe. Après avoir régler le focus sur la plaquette du haut, on déplace les objectifs unitairement de manière à pouvoir observer les mire situées sur la plaque du haut. Une fois qu'on les a identifiées et alignées, on décale le focus des objectifs de manière à pouvoir visualiser la plaque du bas et faire de même pour l'aligner sur celle du haut en jouant le la molette du focus. Le déplacement en X, Y et  $\theta$  du plateau du bas se fait avec des vis micrométriques situées sur le coté gauche et en face de la machine.



L'alignement de deux plaques peut se faire à condition que l'épaisseur de la plaque se trouvant sur le plateau supérieur (plaque en verre pour la soudure anodique) soit comprise entre 0.4 et 3 mm. L'épaisseur maximum des deux plaques à sceller doit être inférieure à 10mm.

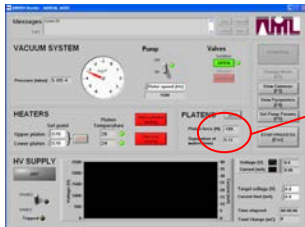
### Application de la force :



Une fois l'alignement des plaquettes effectué, on peut mettre en contact les plaques et appliquer la force grâce au volant situé sur le coté de la machine.

Force Anodique (optionnelle) : 200N max

La lecture de la force appliquée se fait directement sur le panneau de contrôle.



### Application de la Tension :

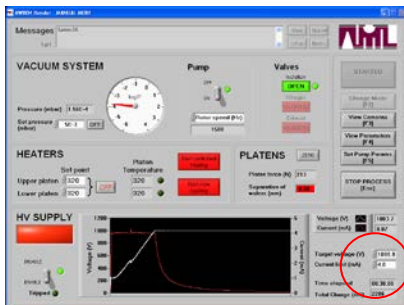
Pour le scellement anodique, une haute tension est appliquée entre l'anode (silicium) et la cathode (verre). Le courant limite appliqué est inférieur à 4 mA et le scellement est terminé lorsque le courant final est de 0.4mA pour une plaque de 4 pouces.

Les valeurs de tension et courant demandées sont indiquées manuellement.

Vset anodique = 600V

I limit = 4mA

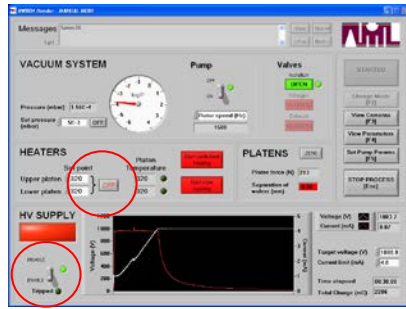
I final = 0.4mA



Pour des scellements présentant un oxyde ou du nitrure sur le silicium, les températures ainsi que les tensions à appliquer seront différentes. La préconisation est d'élever la température entre 400 et 420°C ainsi que la tension, comprise entre 1000 et 1200V. Au-delà de cette valeur, le verre peut être endommagé.

Rq : Lorsque l'oxyde ou le nitrure sont trop épais ou que le silicium est très résistif, un pic de courant est émit lors de l'application de la tension. La machine n'étant pas prévue pour fonctionner en fort courant mais en tension, celle-ci se met en alarme et ne délivre pas de tension.

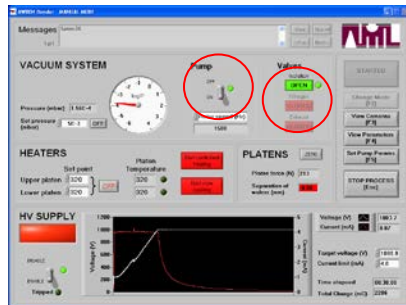
## Fin de procédé



Une fois que le scellement est fini, on coupe la tension, on arrête le chauffage



On sépare les plateaux du haut et du bas à l'aide de la manivelle tout en libérant les plaques du plateau du haut à l'aide de la molette placée sur le haut du couvercle



On coupe le pompage et on enclenche le début du refroidissement de l'enceinte à l'azote en fermant la vanne d'isolation et en ouvrant celle d'azote.

Attention, il est formellement interdit d'ouvrir l'enceinte avant que la température de celle-ci soit inférieure à 200°C. Une fois la température inférieure à cette valeur, l'opérateur peut ouvrir l'enceinte et récupérer les plaques scellées.

Les fichiers comprenant tous les paramètres du scellement sont disponibles sous C\AWB\log\ "nom du lot ". Ce sont des fichiers .evt et .dat qui peuvent être importés dans Excel.