

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	2
2. COUCHE DE DIELECTRIQUE	2
3. DESCRIPTION GENERALE DES TESTS DE BRASURE SANS PLOMB.....	3
3.1. BUTS	3
3.2. MOYENS UTILISES	4
4. PREMIERE SERIE DE TESTS	4
4.1. LISTE DES SUBSTRATS-TEST	4
4.2. FOUR REFLOW : RESULTATS SELON LE PROFIL DE CUISSON.....	6
4.3. FOUR REFLOW : RESULTATS SELON LE TYPE DE PATE	7
4.4. TESTS DE CISAILLEMENT	8
4.5. PLAQUE CHAUFFANTE : COMPARAISON AVEC LE FOUR REFLOW	8
5. DEUXIEME SERIE DE TESTS.....	10
5.1. LISTE DES SUBSTRATS DE TEST	10
5.2. RESULTATS SELON L'ORDRE DE SUCCESSION DE COUCHES	10
6. CONCLUSION	13
7. REFERENCES.....	13

1. Introduction

Une nouvelle version du capteur de force CentoNewton-B [1] a été créée durant le projet de semestre de Dara Haftgoli (automne 2011) [2]. Cette version permet entre autres d'optimiser les différentes étapes de production de par son layout modifié, qui a entre temps subi quelques ajustements, donnant la version Bd' (Figure 1) [3].

Au niveau de la couche de diélectrique, il a fallu chercher quel était le mélange de pâte diélectrique idéal entre les deux types disponibles. Une description de la solution choisie se trouve à la section suivante.

Une des améliorations restant à apporter à ce capteur est le passage à l'utilisation de brasure sans plomb, notamment demandé par les clients.

Dans ce but, divers tests que ce document a pour but de décrire ont été réalisés durant la production de la première série de cette version du CentoNewton.

2. Couche de diélectrique

Le mélange de pâte diélectrique choisi définitivement pour la version Bd du capteur est composé d'une part de pâte ESL 4913 pour deux parts de pâte ESL 4917 [4].

On obtient ainsi une surface de laquelle les pistes conductrices déposées au-dessus ne se décolent pas (problème avec ESL 4917 pur, trop vitreux), ce qui était l'objectif principal.

Visuellement, la couche de diélectrique une fois cuite est plus claire que les mélanges testés précédemment, ce qui aura une influence lors du passage des substrats au four de refusion (*reflow*) pour l'opération de brasage.

On constate également (par rapport à ESL 4913 pur) que le maillage de la trame est moins apparent et que l'étalement de la pâte n'est pas excessif : les plages de conducteur ne se font pas recouvrir.

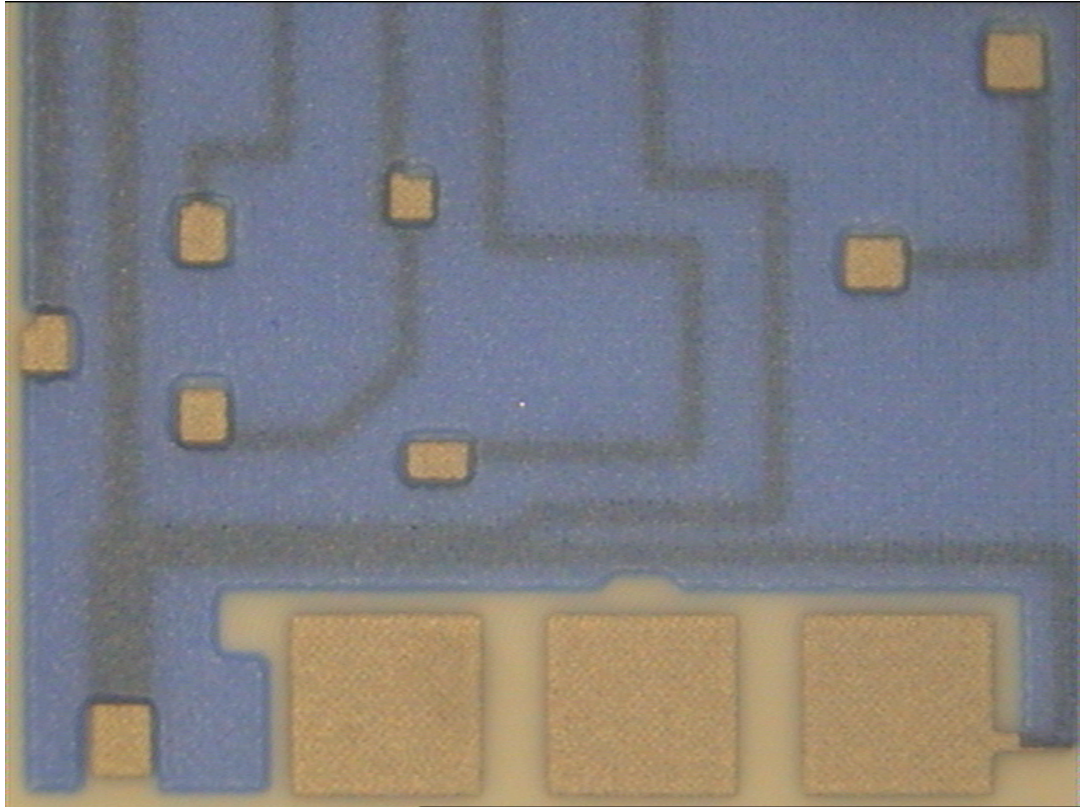


Figure 2 Aspect du diélectrique cuit (ESL 4913 – ESL 4917, 2 :1).

3. Description générale des tests de brasure sans plomb

3.1. Buts

En marge de la production en cours, quelques substrats ont été réservés pour pratiquer des tests.

L'objectif principal était de déterminer quelles pâtes d'argent-palladium utiliser pour les différentes pistes et plages conductrices à sérigraphier afin d'obtenir les meilleurs mouillage et résistance mécanique de la brasure.

Ces tests devaient aussi permettre de déterminer le profil idéal du four de refusion.

3.2. Moyens utilisés

Le type de pâte de brasure utilisée est Sn96.5 Ag3 Cu0.5 (« SAC »).

La pâte a été disposée manuellement au dispense sur quelques plages d'une colonne de capteurs, puis des condensateurs SMD ont été déposés afin de pouvoir par la suite vérifier leur bonne tenue par des tests de cisaillement.

Le four de refusion a ensuite été utilisé pour fondre la brasure, et par la même occasion pour observer l'influence de la variation de durée et de température de cuisson sur les substrats-test.

Une fois ces paramètres maîtrisés, les résultats ont été comparés à ceux obtenus en utilisant une plaque chauffante, puis ce moyen de cuisson a été préféré pour les ultimes tests en raison du gain de temps.

4. Première série de tests

4.1. Liste des substrats-test

La première couche de piste (i) a été sérigraphiée avec la pâte ESL 9635-G, puis elle a été recouverte de deux couches de diélectrique¹. Ensuite, on a déposé la couche de piste supérieure (s), puis le renfort (r).

La liste suivante indique les pâtes utilisées pour les deux étapes suivantes (pistes et renforts) sur les quatre substrats réservés pour les tests.

Remarque importante : la trame utilisée pour les renforts comporte une erreur de design qui n'a été découverte que plus tard. Elle ne comporte pas d'ouvertures pour déposer la pâte sur les grandes plages du capteur ; cela se voit sur les photos des substrats-test n°2 et n°4.

Il en résulte que tant les empilements sur diélectrique que sur alumine sont constitués de deux couches, qui peuvent cependant être différentes ; seuls les vias ont 3 couches de pâte conductrice.

Les grandes plages des substrats n°1 et 4 (directement sur alumine) ont donc deux couches de ESL 9635-G, alors que celles des substrats n°2 et 3 ont une couche de ESL 9635-G et une couche de 9562-G en surface.

¹ Voir Section 2

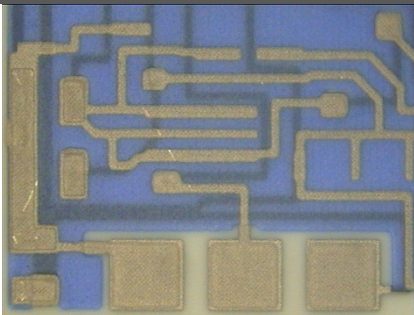
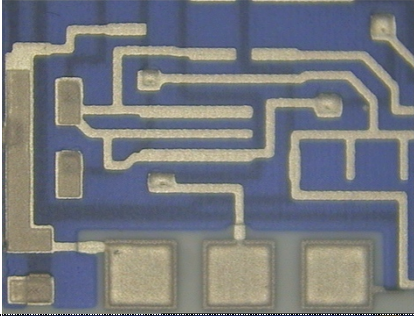
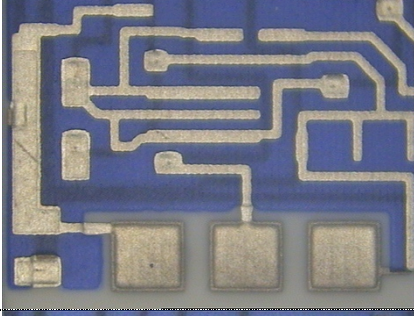
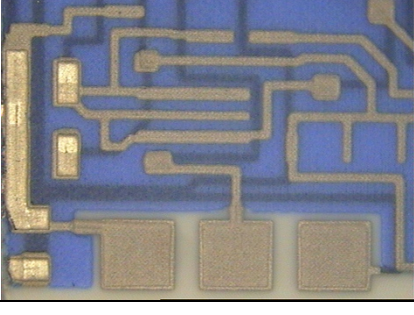
N°	Empilement de pâtes utilisé sur les différentes régions		Photo
	Sur diélectrique	Sur alumine	
1	(r) ESL 9635-G - (s) ESL 9635-G	(s) ESL 9635-G - (i) ESL 9635-G	
2	(r) ESL9635-G - (s) ESL 9562-G	(s) ESL 9562-G - (i) ESL9635-G	
3	(r) ESL 9562-G - (s) ESL 9562-G	(s) ESL 9562-G - (i) ESL9635-G	
4	(r) ESL 9562-G - (s) ESL 9635-G	(s) ESL 9635-G - (i) ESL 9635-G	

Tableau 1 Les quatre substrats de la première série de tests.

4.2. Four reflow : résultats selon le profil de cuisson

Un des points critiques des tests était de trouver la bonne durée et la bonne température afin pour la fusion de la brasure, sans surchauffe du flux et des composants, ni de reste de brasure non fondue.

Le Tableau 1 ci-après indique les profils de cuisson utilisés et montre un exemple de résultat (substrat n°1).

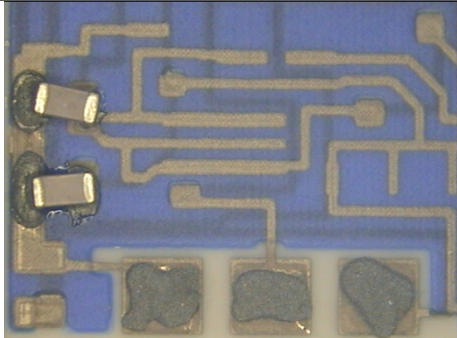
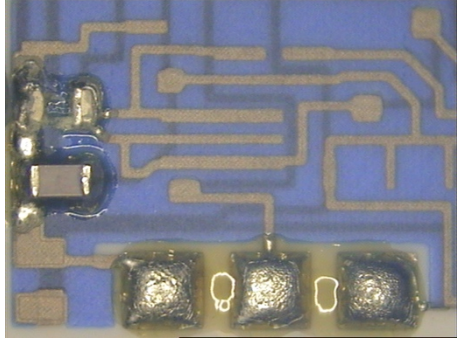
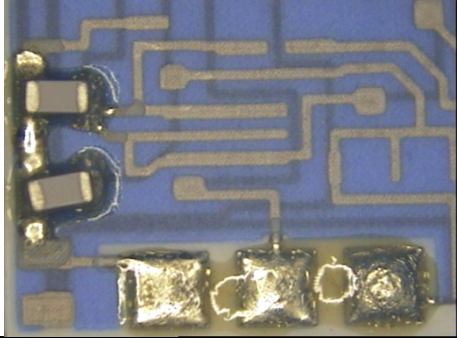
N°	Durées et températures		Photo
	Séchage	Fusion	
A	200°C 60s	230°C 10s	
B	200°C 60s	240°C 10s	
C	200°C 60s	240°C 30s	

Tableau 2 Recherche du profil idéal pour le four *reflow*.

Constatations :

- A) En premier lieu, le profil M4 du four *reflow* a été utilisé. Il avait été ajusté pour fondre la brasure des CentoNewton dont la couche de diélectrique était plus foncée car le mélange de pâte n'était pas le même. Puisque le mélange de diélectrique retenu est plus clair, la température de ce profil n'a pas été suffisante (un substrat clair absorbe moins la chaleur). La brasure est sèche mais n'a pas fondu.
- B) Avec 10°C de plus, on obtient un bon résultat. La brasure a bien fondu, le flux reste relativement clair.
- C) Il a ensuite été décidé d'augmenter la durée et non la température car le four *reflow* pourrait devenir instable à plus haute température. Avec 20 secondes de plus, on constate que le flux commence à brunir. Il ne faudrait donc pas dépasser ce temps pour un meilleur résultat.

Le profil B (200°C 60s pour le séchage et 240°C 10s pour la fusion) a par conséquent été retenu comme meilleure alternative.

4.3. Four reflow : résultats selon le type de pâte

Dans un 2^e temps, on examine la qualité de mouillage de la brasure (Figure 3 et Figure 4) en fonction de la combinaison de couches de métallisation utilisée.

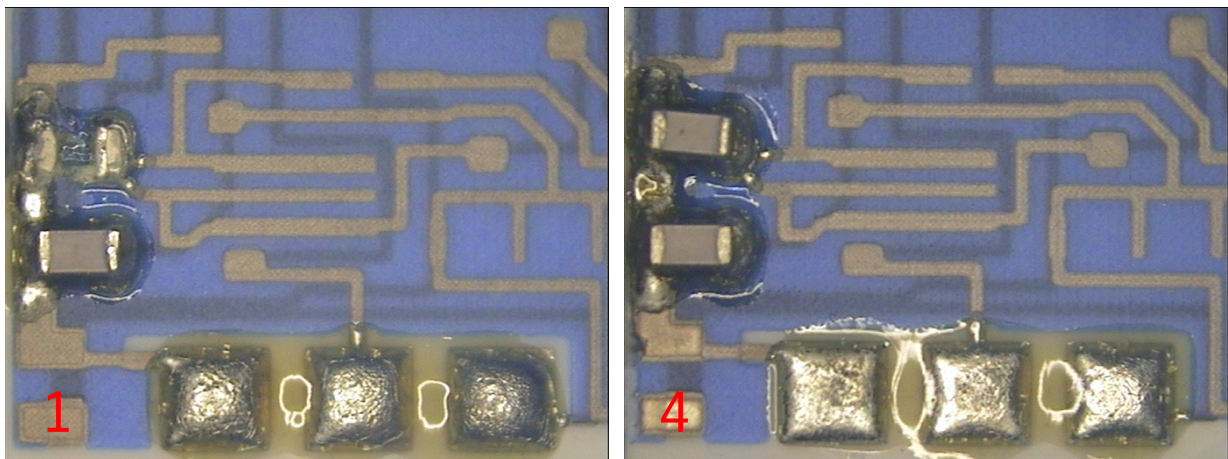


Figure 3 Substrats n°1 et 4 après passage au four.

Les substrats n°1 et 4 sont ceux qui possèdent (sur alumine) deux couches de ESL 9635-G. L'étalement de la brasure est visiblement bon. Sur diélectrique, la couche de fond (s) est ESL 9635-G, mais la couche de surface (r) est différente : sur le substrat n°1, on a ESL 9635-G, et sur le substrat n°4, une couche de ESL 9562-G.

La brasure a une légère tendance à mieux s'étaler là où cette couche de renfort est de type ESL 9635-G.

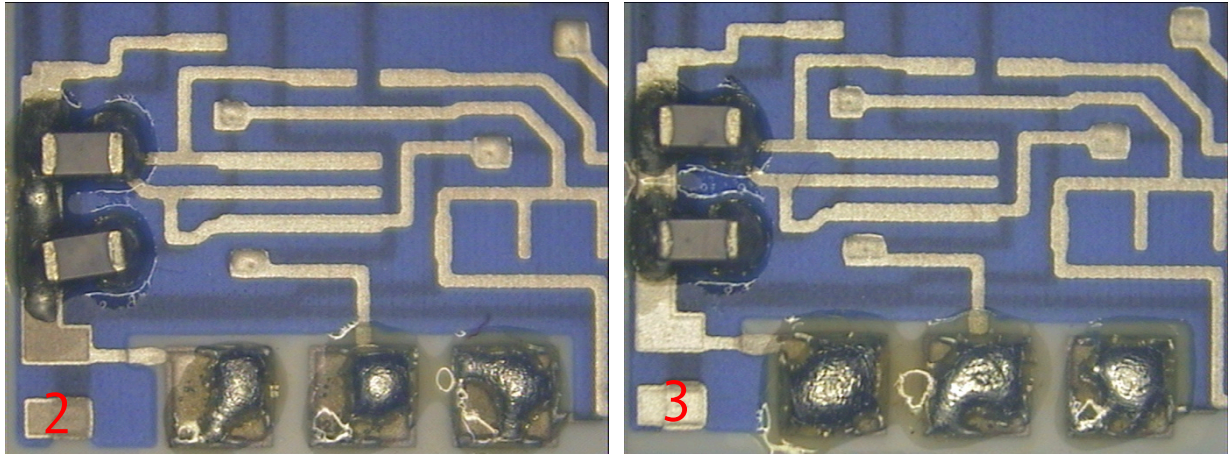


Figure 4 Substrats n°2 et 3 après passage au four

Dans le cas où les plages sur alumine sont composées de la pâte ESL 9635-G en fond et de ESL 9562-G en surface, le résultat est nettement moins satisfaisant.

Comme pour les substrats précédents, on constate que les renforts en ESL 9635-G (substrat n°2) donne un meilleur étalement de la brasure.

Au niveau des grandes plages, le substrat n°3 donne un résultat un peu meilleur de par le fait que les 2 couches de pâtes différentes semblent avoir interagi, un peu de pâte ESL 9635-G se retrouvant mêlée à la surface de ESL 9652-G.

4.4. Tests de cisaillement

Sur ces quatre substrats passés au four *reflow* ont été réalisés des tests de cisaillement.

Aucune différence notable n'a été constatée selon le type de pâte ; les composants résistent à environ 40 N, et lorsqu'ils sont arrachés, c'est le plus souvent toutes les couches sérigraphiées qui se décollent du substrat.

Il n'y a donc visiblement pas de problème de mauvaise tenue de la brasure ou de plages s'arrachant sur le diélectrique.

4.5. Plaque chauffante : comparaison avec le four reflow

Les mêmes tests ont été effectués en remplaçant la cuisson au four *reflow* par un passage sur la table chauffante. La Figure 5 montre le dispositif mis en place sur la plaque à 260°C. Les substrats sont d'abord posés sur les barrettes bleues (~3 mm d'épaisseur) pour la phase de séchage. Ils sont ensuite déplacés sur les barrettes blanches (1 mm d'épaisseur) pour la fonte de la brasure. De cette manière, la brasure fondait en une dizaine de secondes.

Le fait que les substrats ne soient pas directement posés sur la plaque chauffante permet d'éviter leur déformation due à des inégalités de température en différents endroits de la plaque, et donne une meilleure homogénéité de température, celle-ci étant moins influencée par la distance substrat-plaque qu'en cas de contact direct. Dans le cadre de tests cela n'a pas beaucoup d'importance, mais en production cela peut se révéler critique, en raison de la taille du substrat.

Les résultats (Figure 6) sont similaires malgré la photo du substrat n°2 qui laisse penser à une amélioration par rapport avec la cuisson au four. En réalité, sur les six capteurs de la colonne testée au moyen de la plaque chauffante, seul deux ont un aussi bel aspect alors que les autres se rapprochent du résultat de la Figure 4. Cela montre que ce choix de combinaison de pâte peut être une alternative possible mais qui ne serait pas très reproductible.

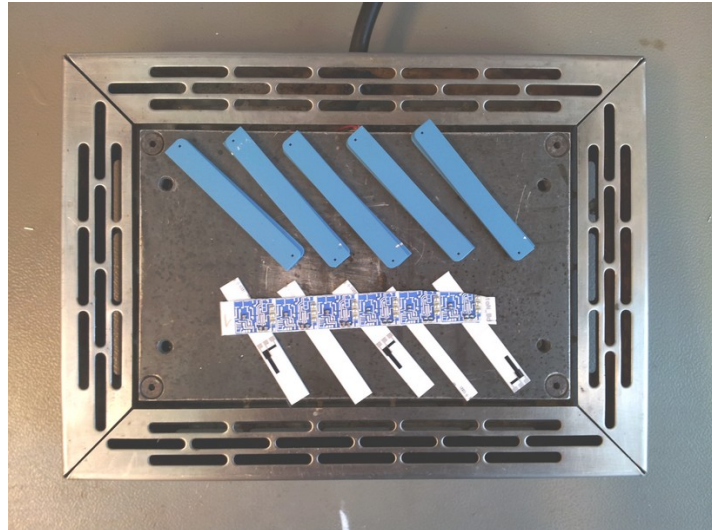


Figure 5 Déroulement de la cuisson sur la plaque chauffante

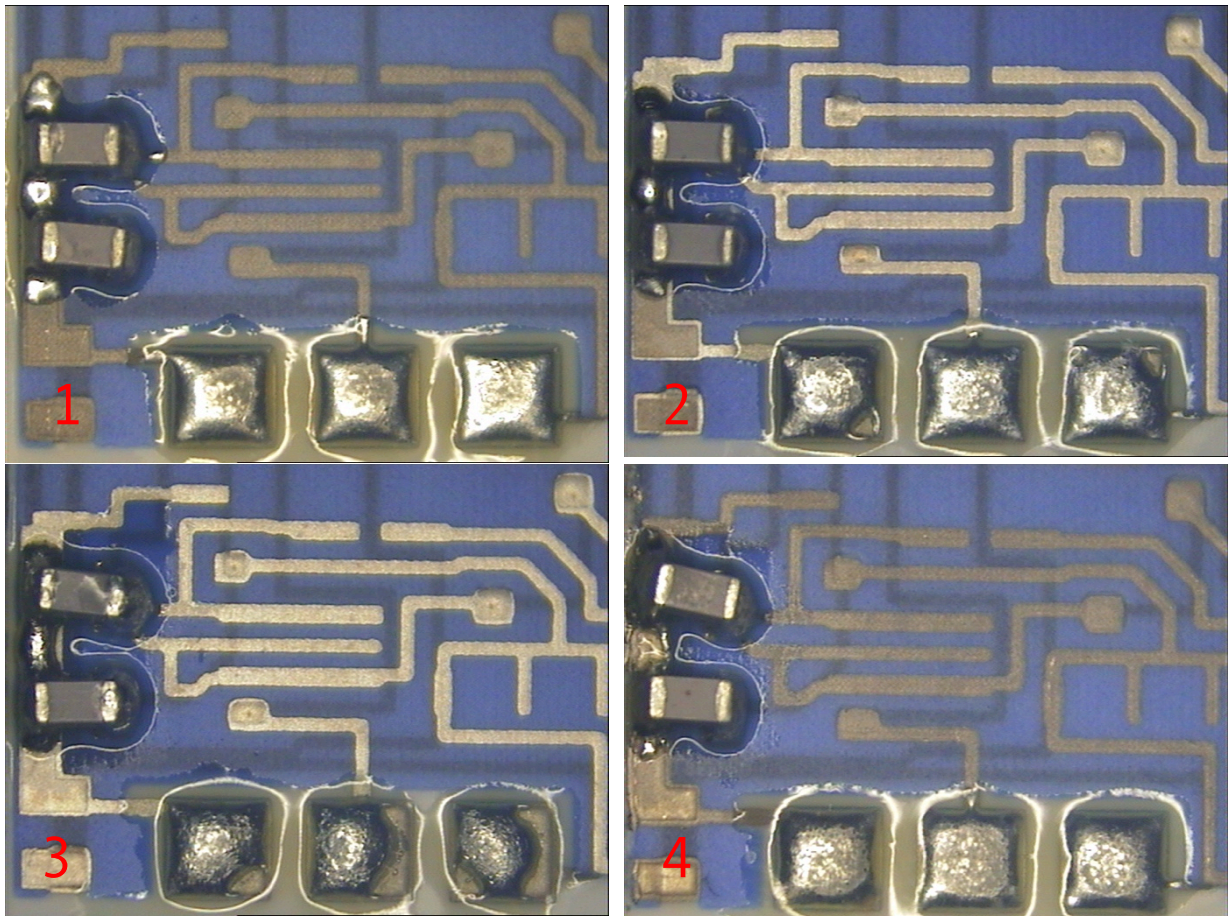


Figure 6 Substrats n°1 à 4 après cuisson sur la plaque chauffante

5. Deuxième série de tests

Le capteur CentoNewton dans sa nouvelle version est censé comporter trois couches de conducteur et cela n'a pas été le cas dans la première série de tests, vu l'erreur de design de la trame de renfort.

Pour tout de même avoir des résultats de test avec trois couches conductrices, six substrats de plus ont été préparés pour tester toutes les combinaisons logiques de pâtes.

5.1. Liste des substrats de test

Les deux premiers substrats de cette série ont pour première couche la pâte ESL 9635-G. Ce sont donc des substrats dont cette couche avait déjà été sérigraphiée précédemment qui ont été mis de côté. Les quatre autres substrats ne comportent pas de couche de diélectrique ; il était inutile d'en mettre puisque nous avons vu auparavant que ce nouveau mélange ne pose pas de problème.

A la place de la trame de renfort, la trame de la deuxième couche de conducteur a été utilisée deux ou trois fois sur le même substrat selon la combinaison de couches de pâtes voulue, dans le but de bel et bien obtenir trois couches conductrices sur les grandes plages.

5.2. Résultats selon l'ordre de succession de couches

Les résultats de cette nouvelle série sont illustrés en Figure 7 et Figure 8. Comme on pouvait facilement le déduire des résultats des premiers tests, on observe une mauvaise répartition de la brasure lorsque la couche en surface est de type ESL 9562-G, bien que cela reste acceptable.

Avec la pâte ESL 9635-G en surface, peu importe la nature des couches en-dessous, la brasure a un bon comportement. Cette solution est aussi favorable du point de vue de la résistance à l'électromigration.

Cela nous permet d'effectuer le choix final en tenant compte d'autres critères comme la difficulté de la sérigraphie ou la tenue au brasage du capteur. En effet, le substrat n°9 ne comporte que deux couches de pâtes, et pour plus de fiabilité (opération de brasage manuel chez le client), il est préférable qu'il y ait une épaisseur importante sur les plages correspondantes, autrement dit les trois plages sur alumine.

Et comme la pâte ESL 9562-G se sérigraphie plus facilement (il s'agit surtout de l'étape de nettoyage qui est plus commode), le choix se porte sur le substrat n°8, c'est-à-dire sur la succession de couches ESL 9562-G pour les pistes inférieures et supérieures au diélectrique, puis ESL 9635-G en renforts. Pour les conducteurs, ESL 9562-G a aussi l'avantage d'avoir une plus grande conductivité électrique.

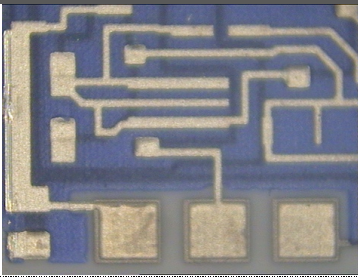
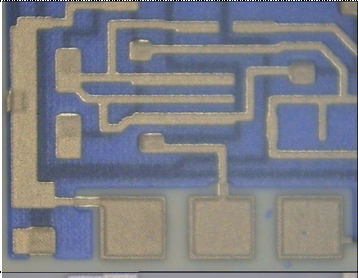
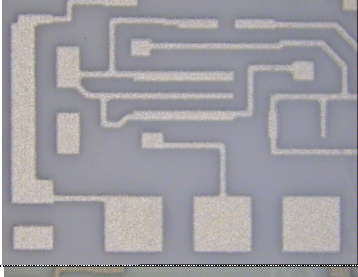
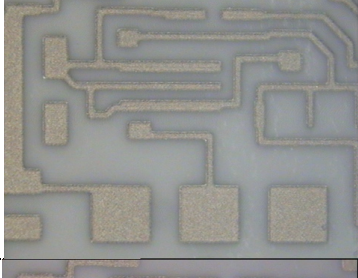
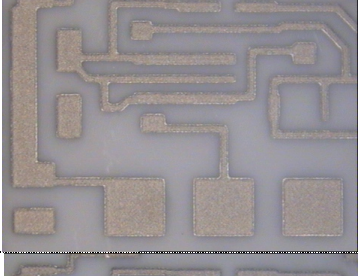
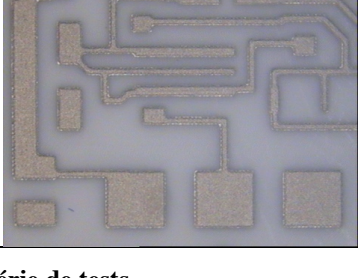
N°	Couche de pistes			Photo
	1 ^{ère} §	2 ^{ème}	3 ^{ème}	
5	ESL 9635-G	ESL 9562-G	ESL 9562-G	
6	ESL 9635-G	ESL 9562-G	ESL 9635-G	
7	ESL 9562-G	ESL 9562-G	ESL 9562-G	
8	ESL 9562-G	ESL 9562-G	ESL 9635-G	
9	ESL 9562-G	ESL 9635-G	—	
10	ESL 9562-G	ESL 9635-G	ESL 9635-G	

Tableau 3. Les six substrats de la deuxième série de tests
 § 1^{ère} couche présente sur alumine seulement

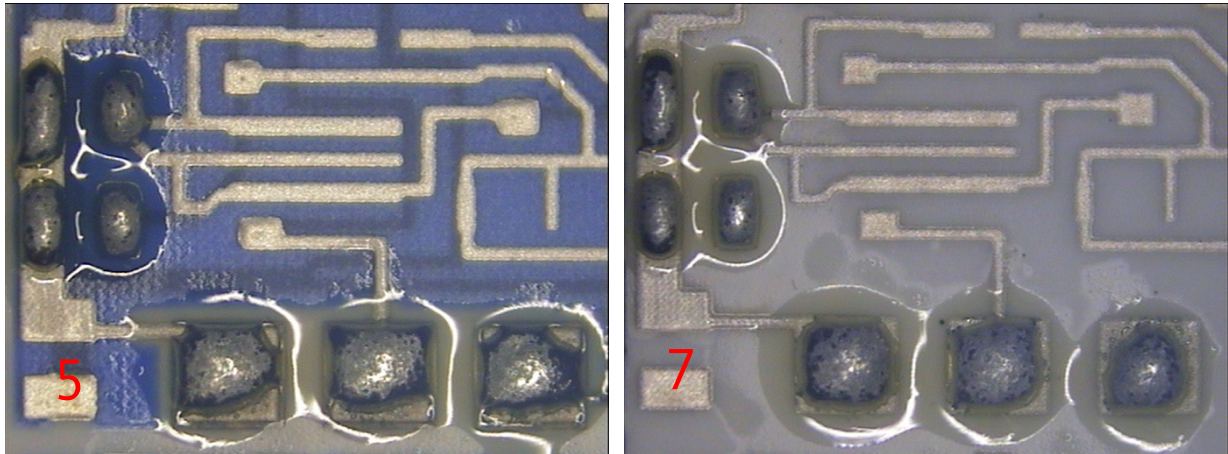


Figure 7. Résultats sur substrats n°5 et 7, avec ESL 9562G comme couche supérieure.-.

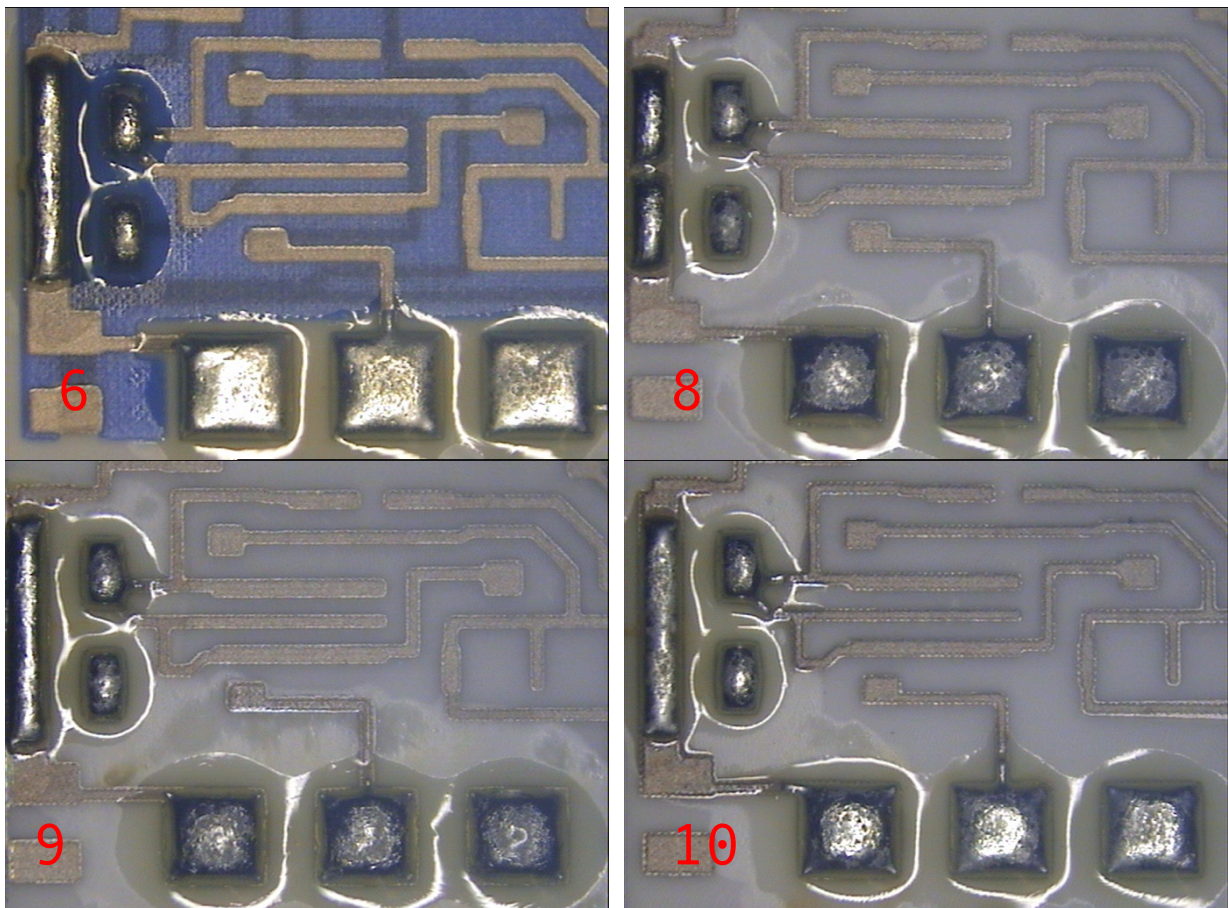


Figure 8. Résultats sur substrats n°6, 8, 9 et 10, avec ESL 9635G comme couche supérieure.

6. Conclusion

Dans ce travail, nous avons étudié le brasage tendre sans plomb (Sn96.5 Ag3 Cu0.5, « SAC ») sur le capteur CentoNewton, directement sur alumine et sur diélectrique (mélange ESL 4913:4917 1:2), en fonction de la combinaison (empilement) de métallisations utilisée.

On obtient un mouillage nettement meilleur de la brasure si la couche de surface est ESL 9635-G (Ag:Pd 3:1). L'autre métallisation, ESL 9562-G (Ag:Pd:Pt, Ag>90%) est acceptable pour le montage des composants, mais l'étalement de la brasure sur les grandes plages est moins satisfaisant. Dans tous les cas, la tenue au cisaillement (*shear test*) des composants est bonne.

En tenant compte du mouillage de la brasure et d'autres paramètres (facilité de sérigraphie / nettoyage, fiabilité, conductivité et électromigration), nous avons choisi la combinaison suivante :

- Conducteur : ESL 9562-G
- Conducteur supérieur : ESL 9562-G
- Renfort : ESL 9635-G

Cette solution donne (après correction du design) deux couches sur le diélectrique, ce qui est suffisant pour le montage des composants, et trois couches pour les grandes plages directement sur alumine, ce qui assure une bonne fiabilité pour l'opération ultérieure de brasage manuel.

7. Références

- [1] "Capteur de force CentoNewton", rapport "*Documentation CentoNewton - 110810*", EPFL-LPM, Lausanne (CH), 2011.
- [2] "Optimisation des dimensions d'un capteur de force (CentoNewton)", rapport projet de semestre, EPFL-LPM, Lausanne (CH), 2012, <http://infoscience.epfl.ch/record/229455>.
- [3] Capteur CentoNewton : liste de sérigraphie, "*Liste Sérigraphie – CentoNewton Bd 120709*", EPFL-LPM, Lausanne (CH), 2012.
- [4] "Diélectriques multicouches – ESL 4913 & 4917", rapport "2012-06-04 diélectriques multicouches - mélange ESL4913 + ESL4917", EPFL-LPM, Lausanne (CH), 2012, <http://infoscience.epfl.ch/record/229457>.