

## **CentonNewton – tests de rupture & collage**

*Tests mécaniques réalisés sur la série de capteurs CentonNewton-Ba (12c001) : destruction en surcharge, cisaillement des brasures et des collages en silicone.*

Thomas Maeder, 8.6.2012.

**Projet** : CentonNewton

**Mots-clefs** : surcharge, rupture mécanique, fiabilité, collage, montage composants.

### ***Table des matières***

1. INTRODUCTION.....	2
2. FORCE DE RUPTURE EN COMPRESSION (SURCHARGE).....	2
3. CISAILLEMENT DES COMPOSANTS .....	3
4. COLLAGE ET DECOUPE DE LA PASTILLE.....	6
5. CONCLUSIONS .....	6
6. REFERENCES.....	6

### ***Résumé***

Des tests mécaniques de surcharge du capteur et de cisaillement des composants ont été réalisés, pour la version Ba du capteur CentonNewton. Pour la variante standard (40 N, épaisseur 0.635 mm), on a une rupture à environ 200 N, ce qui constitue une marge confortable.

La tenue au cisaillement des composants électroniques, brasés sans plomb sur diélectrique, est acceptable ; la rupture se produit partiellement aux interfaces, partiellement dans la brasure. En revanche, les collages silicone ne sont pas encore bien maîtrisés ; il faut plus d'adhésif sérigraphié entre circuit et embase, et une déposition automatique entre pastille et circuit.

Finalement, il faut veiller, lors du montage, que les ressorts des buses de la machine de placement ne sont pas grippés, ce qui donne des pastilles inclinées.

## 1. Introduction

Le capteur de force CentoNewton [1-4] a récemment fait l'objet d'une mise à jour [5], principalement pour arriver à une fabrication plus rationnelle. Pour des raisons de place, il s'agit maintenant d'un circuit multicouche complet.

Comme le diélectrique multicouche utilisé en standard au LPM, ESL 4913, a une résolution d'impression relativement limitée, on a cherché à le remplacer, ce qui a mené à un mélange de deux diélectriques, ESL 4913 + ESL 4917 [6].

Ce document concerne les essais mécaniques pour évaluer la fiabilité de la structure et des assemblages :

- Résistance du capteur en force compressive (surcharge)
- Résistance en cisaillement des assemblages (collages et brasages)

## 2. Force de rupture en compression (surcharge)

### Forces et contraintes nominales

La force de rupture n'a été évaluée que grossièrement ; les valeurs ne reflètent pas forcément une production en série, car les pastilles ont été collées de biais suite à un problème avec le placeur de composants (voir chapitre 4), ce qui peut créer des concentrations de contrainte et fausser les résultats.

La contrainte nominale  $\sigma_r$  est donnée, pour un disque de diamètre  $d_{bord}$  soumis à une flexion en double anneau (la configuration de CentoNewton) avec une force appliquée  $F$ , par la formule de Vitman et al. [2,7,8] :

$$\sigma_r = \frac{3}{4\pi \cdot h^2} \cdot \left[ 2(1 + \nu) \cdot \ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right) + (1 - \nu) \cdot \left(\frac{d_{ext}^2 - d_{int}^2}{d_{bord}^2}\right) \right] \cdot F$$

Cette contrainte est biaxiale, et idéalement constante à l'intérieur du périmètre défini par l'anneau intérieur. Le diamètre des anneaux est  $d_{int}$  et  $d_{ext}$ , avec  $d_{int} < d_{ext} < d_{bord}$ . Pour un substrat carré de bord  $a$  au lieu d'un circulaire, on a la relation [2,7] :

$$d_{bord} = \frac{1 + \sqrt{2}}{2} \cdot a = 1.207a$$

Les dimensions de la nouvelle version de CentoNewton étant rectangulaires, de dimension  $a_1 \times a_2$ , on a admis l'approximation suivante (moyenne géométrique) :

$$d_{bord} \approx 1.207 \sqrt{a_1 \cdot a_2}$$

Les valeurs nominales et mesurées sont données au Tableau 1. La force de rupture typique, sur une série de  $\approx 10$  capteurs, est de l'ordre de 200 N, ce qui correspond à une contrainte de  $\approx 250$  MPa. Cette valeur est assez réaliste, étant donné les problèmes susmentionnés, et une majoration de l'ordre de 10% à faire entre contrainte en traction nominale et rupture uniaxiale, pour ce test [8].

Grandeur	Symbole	Valeur	Note
Capteur : longueur	$a_1$	15.24 mm	Légère influence sur la contrainte : diamètre bord
Capteur : largeur	$a_1$	12.70 mm	
Diamètre bord	$d_{bord}$	16.79 mm	Diamètre effectif
Diamètre anneau externe	$d_{ext}$	10.00 mm	Dans le plan, déterminants principaux pour la contrainte
Diamètre anneau interne	$d_{int}$	4.60 mm	
Diamètre pastille		5.0 mm	Collée sur le pourtour : anneau interne
Configuration		040B	Configuration livrée au client
Force nominale	$F_N$	40 N	Force nominale du capteur
Force de rupture typique	$F_R$	200 N	Approximativement, poids + levier
Contrainte nominale	$\sigma_{r,N}$	50 MPa	Calculées selon la formule de Vitman et al. [2,7,8]
Contrainte de rupture typ.	$\sigma_{r,R}$	250 MPa	

**Tableau 1. Rupture du capteur en surcharge.**

### Emplacement de la rupture

Les échantillons se rompent en étoile (Figure 1), ce qui permet d'identifier le point d'initiation de la rupture. Ce point tend à se situer vers l'anneau, un peu à l'intérieur. Il n'y a pas de corrélation visible avec l'excès de colle silicone, ce qui indique que le silicone ne joue que peu de rôle sur les contraintes locales, en raison de sa souplesse. Néanmoins, la proximité quasi-systématique entre le point d'initiation de la rupture et l'anneau, mais avec une position variable, indique la présence de contraintes locales plus élevées, dues à la courbure du substrat ou à des variations de sérigraphie (notamment anneau intérieur époxy+poudre).

### 3. Cisaillement des composants

Les composants (Figure 2) ont été cisailés avec le testeur Royce, avec l'outil de cisaillement 50 kgf ; les valeurs mesurées sont données au Tableau 2. Les composants électroniques (Z1 et C1-C4) ont été brasés avec de l'alliage sans plomb Sn-Ag-Cu (SAC) déposé sur la métallisation ESL 9635G, elle-même en renfort sur conducteur ESL 9912K sur mélange de diélectriques ESL 4913 + ESL 4917, en rapport 1:1 de masse d'encre. Les assemblages pastille-circuit et circuit-embase ont été réalisés avec la colle silicone Dow Corning Q5-8401.

Les valeurs des composants électroniques sont acceptables (Figure 1) - la rupture se produit partiellement dans la brasure, partiellement aux interfaces ou dans le diélectrique : on a donc des résistances mécaniques assez équilibrées. Cependant, afin d'éviter au maximum des problèmes, la version future (Bb) comportera des plages de sortie déposées directement sur le substrat d'alumine.

La résistance en cisaillement de l'assemblage de la pastille est aussi acceptable. En revanche, celle du collage entre capteur et embase est faible, d'autant plus que l'anneau inférieur (externe) est nettement plus grand. Un examen du collage (Figure 4) révèle une quantité de colle trop faible ; il est donc recommandé d'utiliser un masque donnant une plus grande épaisseur d'adhésif qu'actuellement (passer de 200 mesh / 50  $\mu\text{m}$  à 105 mesh / 80  $\mu\text{m}$ ).

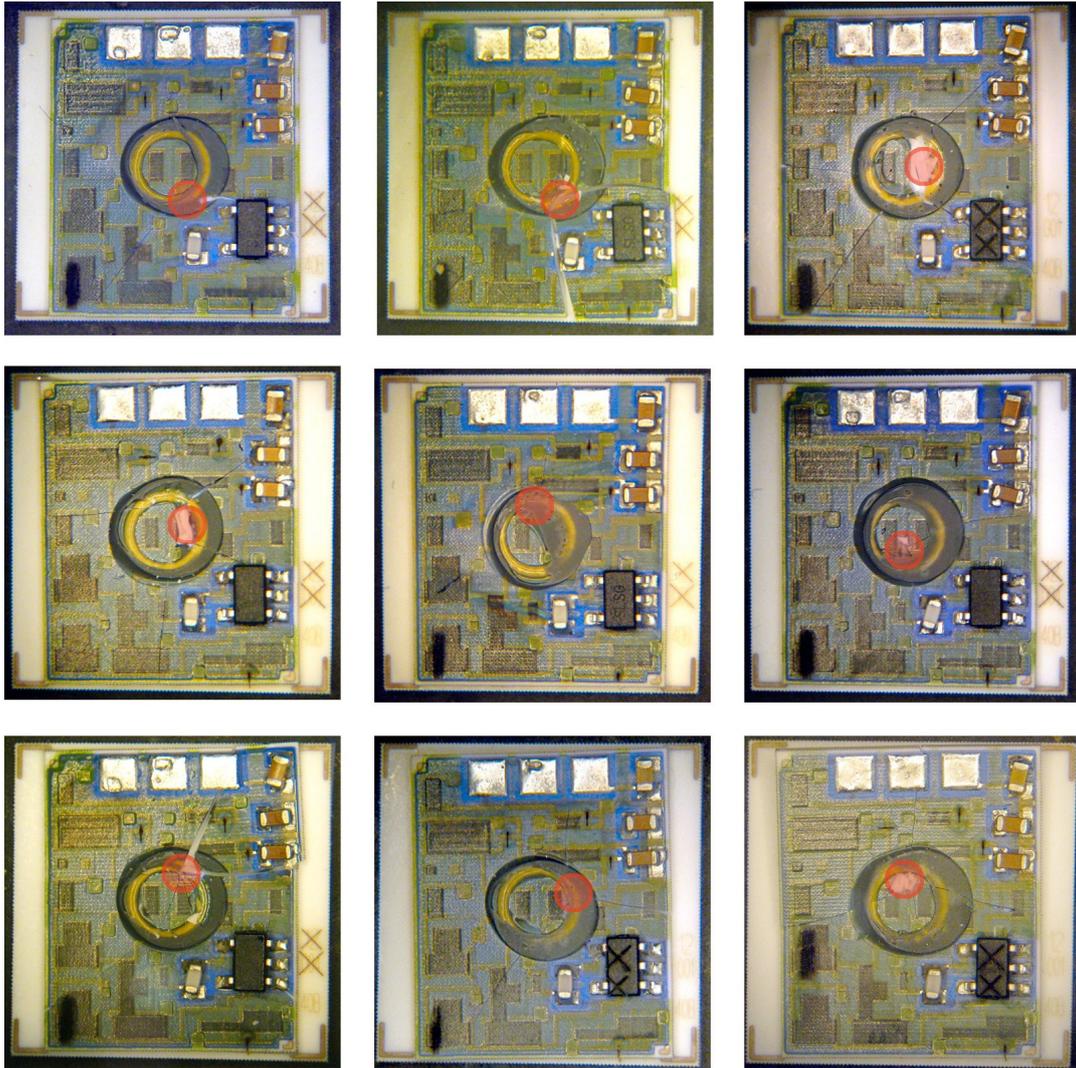


Figure 1. Tests en surcharge – localisation du point de rupture.

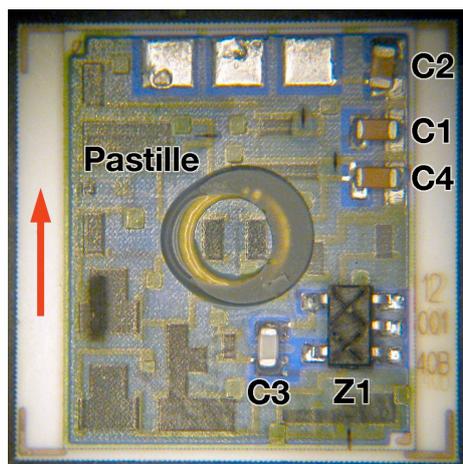
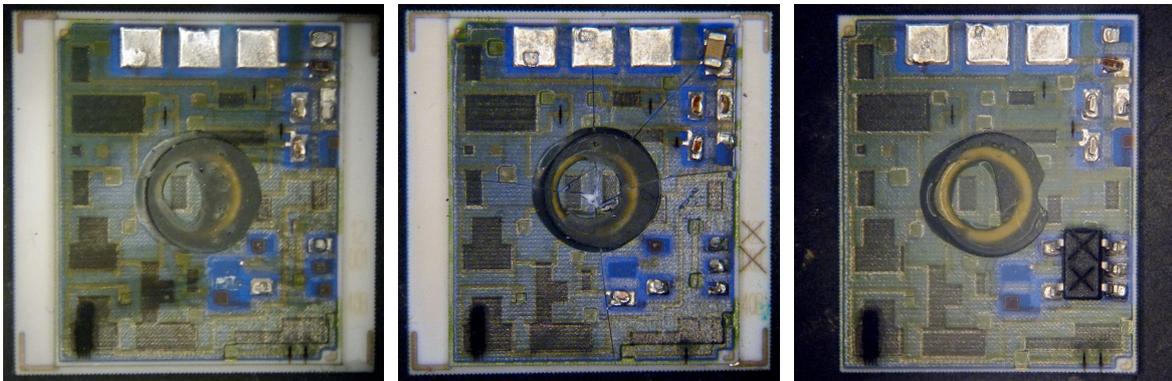


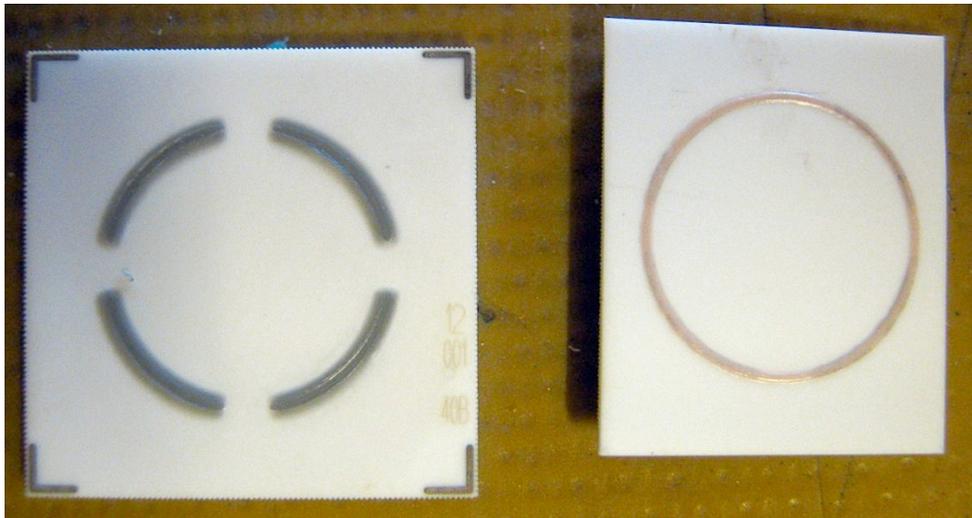
Figure 2. Tests de cisaillement : composants et direction (flèche rouge).

Composant	Boîtier	Forces [N]			Force moyenne [N]
Z1	SOT-23	21	17	20	19
C1	0603	13	11	14	13
C2	0603	22	20	29	24
C3	0603	28	28	46	34
C4	0603	13	15	22	17
Pastille	Ø5.0	48	35		42
Capteur	15.24×12.7	26			26

**Tableau 2. Forces de cisaillement mesurées sur quelques capteurs.**



**Figure 3. Tests en cisaillement : face supérieure des circuits après les essais.**



**Figure 4. Tests en cisaillement : collage circuit – embase après essai de cisaillement.**

## 4. Collage et découpe de la pastille

La quantité de colle et l'appui de la pastille ne sont pas encore maîtrisés :

- Pour la colle, il faut impérativement parvenir à une déposition automatique (dispense ou autre), car la quantité n'est pas bien contrôlée (voir photos).
- La pastille est mal appuyée, et n'est pas parallèle au plan du substrat du capteur (inclinaison). On a pu relier l'origine de ce problème au grippage de la buse correspondante du placeur de composants.

D'autre part, certaines pastilles découpées au laser à l'atelier mécanique présentent des défauts (bavures), voire se cassent très facilement – le processus de fabrication doit encore quelque peu être optimisé, possiblement en incluant un recuit pour "guérir" les microfissures générées par la découpe laser.

## 5. Conclusions

Globalement, la fiabilité mécanique des solutions retenues pour la fabrication des capteurs CentoNewton semble satisfaisante. Il reste cependant quelques points à améliorer et à caractériser plus précisément :

- Sérigraphie plus épaisse de la colle entre capteur et embase
- Dépôt plus reproductible de la colle entre capteur et pastille
- Détermination des fenêtres de processus acceptables pour le diélectrique, les métallisations et le brasage tendre
- Optimisation du processus de découpe laser / de recuit des pastilles

## 6. Références

- [1] CentoNewton, version A, fiche technique, version 2009-08-07.
- [2] Maeder-T Saglini-I Corradini-G Ryser-P, "Low-cost thick-film force sensors for the 100 N force range", Proceedings, XXX International Conference of IMAPS Poland Chapter, Kraków, Poland, 193-196, 2006, <http://infoscience.epfl.ch/record/117941>.
- [3] Affolter-G, "Amélioration d'un capteur de force low-cost", Projet de semestre, EPFL (CH), section de microtechnique, 2007, <http://infoscience.epfl.ch/record/229452>.
- [4] Maeder-T Affolter-G Johner-N Corradini-G Ryser-P, "Optimisation of a thick-film 10...400 N force sensor", Microelectronics Reliability 48 (6), 902-905, 2008, <http://infoscience.epfl.ch/record/118465>.
- [5] Haftgoli-Bakhtiari-D, "Optimisation des dimensions d'un capteur de force (CentoNewton)", Projet de semestre, EPFL (CH), section de microtechnique, 2012, <http://infoscience.epfl.ch/record/229455>.
- [6] Maeder-T Jacq-C, " Diélectriques multicouches – ESL 4913 & 4917", rapport LPM "2012-06-04 diélectriques multicouches - mélange ESL4913 + ESL4917", 2012, <http://infoscience.epfl.ch/record/229457>.
- [7] Vitman-FF Bartenev-GM Pukh-VP Tsepkov-LP, "A method for measuring the strength of sheet glass", Glass and Ceramics 19 (8), 412-414, 1963.
- [8] Thiemeier-T Brückner-Foit-A Kölker-H, "Influence of the fracture criterion on the failure prediction of ceramics loaded in biaxial flexure", Journal of the American Ceramic Society 74 (1), 48-52, 1991.