



Résistance au cisaillement d'assemblages de composants réalisés par brasure tendre Sn-Ag, sur divers diélectriques et conducteurs

Essais de cisaillement (shear tests) sur des composants assemblés par brasure tendre Sn-Ag (alliage Sn96, 96.5% Sn + 3.5% Ag, température de fusion 221°C), sur différentes combinaisons de conducteurs et diélectriques, le tout sur substrat Al₂O₃.

Scherprüfungen an Komponenten gelötet mit Sn-Ag (Sn96 Legierung, 96.5% Sn + 3.5% Ag, Schmelzpunkt 221°C), auf verschiedenen Kombinationen von Leitern und Dielektriken auf Al₂O₃.

Thomas Maeder, 7.12.2000

Projet: brasure métallique.

Mots-clefs: brasure, résistance mécanique au cisaillement, *shear test*, diélectriques, conducteurs.

1. Introduction	2
2. Expériences	3
3. Résultats	5
4. Conclusions	8

Résumé

Des essais de cisaillement (*shear tests*) ont été effectués sur des composants assemblés par brasure tendre eutectique Sn-Ag sur diverses combinaisons de conducteurs et de diélectriques, afin de déterminer la compatibilité de ces systèmes de matériaux avec l'assemblage par brasage

En général, les résistances obtenues sont plus que satisfaisantes et limitées par la brasure ou le composant. Cependant, trois types de rupture spécifiques aux systèmes diélectrique / conducteur ont été rencontrés

- Mauvais mouillage du conducteur par la brasure** due à la pénétration de phase vitreuse du diélectrique dans le conducteur : surtout observé avec Heraeus IP065, mais aussi un peu avec ESL 4903.
- Rupture du diélectrique**, observée surtout avec ESL 4924.
- Décollement du conducteur** dû à sa dégradation par la brasure : surtout observé avec l'or DP 5715 qui est visiblement dissout par la brasure.

Sur tous les diélectriques, l'utilisation d'un conducteur approprié et / ou l'adjonction d'un renfort (2^{ème} couche de conducteur) permet de supprimer les types (a) et (c). La rupture du diélectrique (b) ne constitue pas vraiment un problème, car elle se produit uniquement à des sollicitations élevées.

Kurzfassung

Scherversuche wurden an Komponenten durchgeführt, die mit Sn–Ag Eutektiklot auf verschiedene Kombinationen Leiter und Dielektrika gelötet waren. Dies erlaubte, die Kompatibilität dieser verschiedenen Materialsysteme mit dem Löten zu überprüfen.

Allgemein sind die Festigkeiten gut, und meistens durch die Festigkeit des Lotes oder des Komponenten limitiert. Es wurden jedoch drei Brucharten beobachtet, die durch das Dielektrikum / Leiter System verursacht werden.

- a) **Schlechte Benetzung des Leiters durch den Lot**, verursacht durch Eindringen von Glas aus dem Dielektrikum in den Leiter : Heraeus IP065, und ein wenig ESL 4903.
- b) **Bruch im Dielektrikum**, wesentlich auf ESL 4924 beobachtet.
- c) **Abspalten des Leiters**, verursacht durch die Herabsetzung dessen Haftung durch den Lot. Du Pont 5715 (Gold) ist besonders empfindlich, da er sichtbar sehr schnell in den Lot abgelöst wird.

Auf jedem Dielektrikum können die Brucharten (a) und (c) durch den Einsatz einer angepassten Leiterpaste und / oder einer zweiten Leiterschicht (Verstärkung) vermieden werden. Der Bruch im Dielektrikum selbst (b) ist normalerweise kein Problem, da er wesentlich nur bei hohen Belastungen eintritt.

1. Introduction

Le brasage sur des conducteurs déposés sur diélectrique est utile dans de nombreuses applications, entre autres :

- assemblage de capots hermétiques ;
- montage de composants / de connexions sur substrats métalliques ;
- montage de composants / de connexions sur circuits multicouches (gain de place) ;
- montage de capteurs de type poutre, sérigraphiés sur une seule face.

Dans le cas des connexions et surtout des poutres, une résistance mécanique élevée de l'assemblage est nécessaire, alors que l'assemblage de capots hermétiques nécessite quant à lui un joint absolument continu. L'obtention d'assemblages de bonne qualité nécessite de remplir plusieurs conditions.

- Le conducteur ne doit pas être consommé par la brasure, et donc avoir une épaisseur suffisante et ne pas présenter un taux de dissolution ou de réaction trop élevé.
- La brasure doit bien mouiller le conducteur. Or, certains diélectriques contiennent de la phase vitreuse libre qui peut traverser le conducteur et en diminuer la brasabilité.
- L'adhérence du conducteur sur le diélectrique et celle du diélectrique sur le substrat doivent être bonnes. On s'attend à ce que ce soit normalement le cas, sauf en cas de dégradation du conducteur par la brasure.
- Les propriétés mécaniques du diélectrique doivent être raisonnables, afin que celui-ci ne constitue pas le facteur limitant la résistance mécanique de l'assemblage.

Cette étude vise à évaluer grossièrement (couches déposées à la main avec des masques métalliques; brasure appliquée à la seringue) sur Al₂O₃ 96% la résistance au cisaillement (*shear test*) de composants assemblés sur différentes combinaisons de conducteurs et diélectriques.

Les diélectriques utilisés sont ESL 4924, Heraeus (Her) GPA 98–029, Du Pont (DP) 5704, DP QM42, ESL 4903, ESL 4913, ESL 4702, et Her IP065. Les conducteurs sont ESL 9912A (Ag), ESL 9695, ESL 9635B, DP 5104 et DP 9473 (Ag: Pd), DP 5744 (Au) et ESL 8837 (Au fin, sur Ag ESL 9912). Pour qualifier ces combinaisons, des petits composants SMD ont été brasés avec de la brasure Sn–Ag, puis soumis à des tests de cisaillement.

2. Expériences

Diélectriques et conducteurs

Toutes les couches ont été déposées sur deux substrats en alumine "standard" 96% (Kyocera A-476, Haldemann & Porret). Le processus de fabrication est résumé à la fig. 2-1. Toutes les couches ont été déposées à la main, en utilisant des masques de tôle découpés au laser. Les diélectriques et conducteurs utilisés sont répertoriés au tableau 2-I.

- 1) Dans un 1^{er} temps, on dépose les diélectriques en bandes parallèles, avec des masques de 39 μm d'épaisseur. Après déposition et séchage de tous les diélectriques, on les cuit ensemble.
- 2) Ensuite, on dépose (aussi avec un masque de 39 μm) les conducteurs perpendiculairement aux diélectriques de sorte à former une matrice. Les conducteurs sont aussi cuits ensemble après déposition.
- 3) Sur un des deux substrats, on dépose à nouveau, avec le même masque, une seconde couche de conducteur. Ce niveau est aussi cuit ensemble après déposition.

Chaque niveau est cuit après sérigraphie, ce qui donne 2 (1 couche de conducteur) ou 3 (2 couches) cuissons au total. Le profil "30MN_PR" a été utilisé pour toutes ces cuissons, et les réglages correspondants du four Sierratherm sont donnés au tableau 2-II. Ce profil présente un plateau d'env. 10 min à 850°C, et des vitesses maximales de chauffage / de refroidissement de 100 K/min.

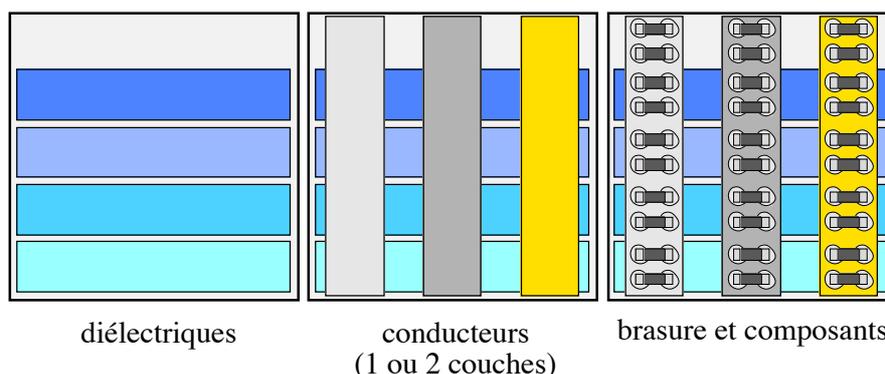


Figure 2-1. Etapes de fabrication des échantillons.

Diélectriques	sans: directement sur Al_2O_3		
	diélectriques pour acier :	ESL 4924	Her GPA 98-029
	diélectriques multicouches :	DP 5704	DP QM42
		ESL 4903	ESL 4913
	couches de protection :	Her IP065	ESL 4702
Conducteurs (combinaisons)	Ag :	1 x ESL 9912A	2 x ESL 9912A
	Ag:Pd 25:1 :	1 x ESL 9695	2 x ESL 9695
	Ag:Pd 3:1 :	1 x ESL 9635B	2 x ESL 9645B
		1 x DP 5104	2 x DP 5104
		1 x DP 9473	2 x DP 9473
	Au :	1 x DP 5744	2 x DP 5744
Ag+Au :	ESL 9912A (Ag) + ESL 8837 (Au fin)		

Tableau 2-I. Diélectriques et conducteurs utilisés.

Profil	Température nominale [°C]	Vitesse de bande [cm/min]	Zone 1 [°C]	Zone 2 [°C]	Zone 3 [°C]	Zone 4 [°C]	Zone 5 [°C]	Zone 6 [°C]
30MN_PR	850	8.67	540	765	866	867	876	890

Tableau 2–II. Réglages du four Sierratherm pour le profil standard « 30MN_PR ».

Brasure et composants

Après application à la seringue de la brasure eutectique Sn–Ag (alliage SN96, 96.5% Sn et 3.5% Ag, fusion à 221°C, et posage des composants, la refusion a été réalisée sur une plaque chauffante réglée à 240°C, pendant env. 40 s afin de solliciter fortement le conducteur en dégradation. La brasure est effectuée "telle quelle", sans étamage préalable. L'application manuelle de la brasure a entraîné ici une très forte variation de la quantité : on s'attend à ce que la résistance mécanique de la brasure varie très fortement.

Un schéma approximatif du composant (condensateur céramique) est donné à la fig. 2–2. Les plages de brasure ont une aire totale calculée d'env. 2.4 mm².

Essais de cisaillement

Les essais ont été réalisés avec un testeur Royce Instruments 552 muni d'une cellule de cisaillement de 50 kgf (env. 500 N), avec l'embout positionné à env. 0.2 mm de la surface du substrat. L'endroit sur le composant et la direction de sollicitation sont donnés à la fig. 2–2.

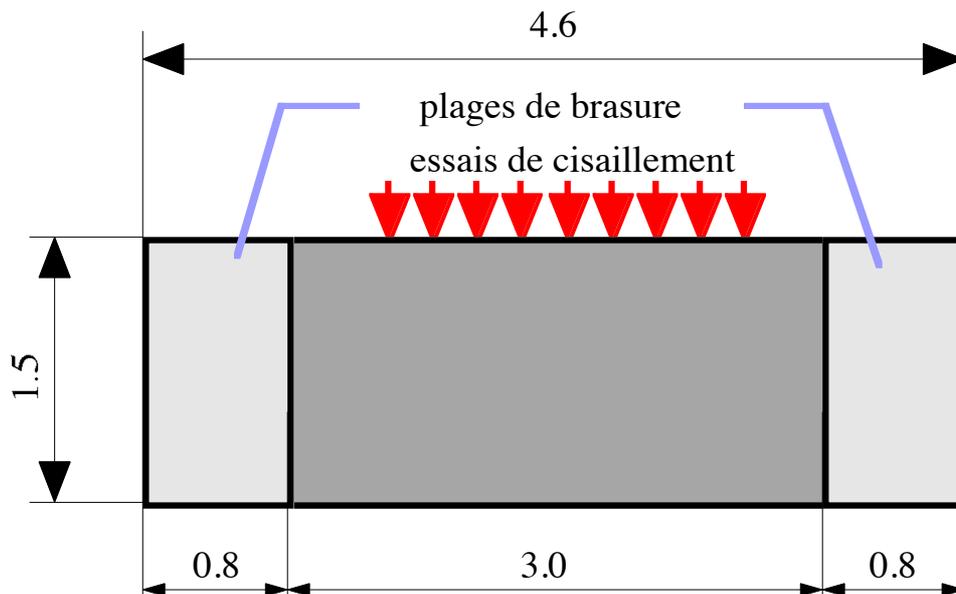


Figure 2–2. Schéma approximatif du composant utilisé pour les tests. Les flèches rouges indiquent la direction et l'endroit de sollicitation pour les essais de cisaillement (*shear tests*).

3. Résultats

Les résultats des différents essais sont donnés au tableau 3-I. On donne ici la contrainte de rupture nominale, calculée en divisant la force de rupture par la surface nominale de l'assemblage (2.4 mm²). Suivant l'observation après essai, on classe les résultats en trois couleurs.

- 1) **Vert**. Dans ce cas, la rupture **n'est pas imputable** au système diélectrique / conducteur. La rupture de la brasure, le décollement de la métallisation du composant ou la rupture du composant tombent dans cette catégorie.
- 2) **Rouge**. Dans ce cas, la rupture **est imputable** à une faiblesse du système diélectrique / conducteur. Les causes observées sont décrites ci-dessous.
- 3) **Beige**. Plusieurs types de rupture ont été observés (cas intermédiaire), et il est difficile de déterminer si le défaut ayant causé la rupture est imputable au composant / à la brasure ou au système diélectrique / conducteur.

La brasure n'a pas été déposée de manière reproductible, et elle n'a pas été étamée (présence de vides); ses propriétés sont donc très variables. De même, la sollicitation du composant par l'embout du module de test en cisaillement est assez variable, car il est difficile d'aligner exactement l'embout avec le composant. Pour ces raisons, les valeurs de résistance à la rupture non imputable au système diélectrique / conducteur varient fortement.

Presque tous les diélectriques et conducteurs ne posent pas problème, malgré le temps d'exposition à 240°C relativement long (env. 40 s), ce qui favorise la dégradation du conducteur par la brasure. Les exceptions sont données ci-dessous.

- a) **Mauvais mouillage du conducteur par la brasure**. Ce problème est dû à la pénétration de phase vitreuse du diélectrique dans le conducteur, et est surtout observé sur Her IP065 (fig. 3-1), qui est en réalité un verre. Le diélectrique ESL 4903 semble aussi comporter un peu de phase vitreuse libre et l'aspect de certains conducteurs en est modifié. Cependant, la quantité était dans ce cas insuffisante pour diminuer la résistance du joint. Les conducteurs ESL 9695 (Ag:Pd 25:1) et DP 9473 (Ag:Pd 3:1) semblent les plus sensibles à la présence de phase vitreuse libre dans le diélectrique. Inversement, ESL 9912A (Ag) et DP 5104 (Ag:Pd 3:1) donnent des brasabilités acceptables sur Her IP065 même avec une couche. L'adjonction d'une seconde couche (renfort) permet de supprimer dans une large mesure le problème pour tous les conducteurs.
- b) **Rupture du diélectrique**. On observe ce mode de ruine surtout avec ESL 4924. Il faut cependant tenir compte du fait que ESL 4924 est spécifié pour l'acier, et se trouve donc sur l'alumine avec une précontrainte en traction entraînant un affaiblissement artificiel. On ne peut donc pas conclure que ESL 4924 est particulièrement peu résistant. En revanche, on n'observe pas de rupture de diélectrique avec Her GPA 98-029, l'autre diélectrique pour acier, en accord avec des observations précédentes que ce diélectrique est particulièrement résistant mécaniquement. Dans l'ensemble, on peut dire que la rupture du diélectrique ne pose pas problème, car elle se produit à des contraintes relativement élevées.
- c) **Décollement du conducteur**. Ce mode de ruine n'est observé qu'avec une couche de conducteur (quelquefois avec ESL 9912A + ESL 8837, mais ESL 8837 est extrêmement mince). On suppose que la cause en est la dégradation du conducteur par la brasure. DP 5715 (Au) y est particulièrement sensible ; lors de la brasure, on observe que des zones sont entièrement dissoutes, laissant à nu le diélectrique ou le substrat. Inversement, les conducteurs ESL 9912A, ESL 9695 et ESL 9635B semblent peu affectés par la brasure. Comme dans le cas (a), l'adjonction d'un renfort permet de supprimer entièrement le problème (sauf avec DP 5715).

Diélectrique ⇒ Conducteur ↓	sans	ESL 4924	Her GPA 98-029	DP 5704	DP QM42	ESL 4903	ESL 4913	ESL 4702	Her IP065
1 x ESL 9912A	64 39	83 55	75 30	74 74	71 62	52 34	58	53 69	49 ^a 40
2 x ESL 9912A	36	58 80	73 69	76 74	48 40	36 73	36 69	35 86	63 30
1 x ESL 9695	80 48	63 40	67 45	65 80	84 76	49 39	66	70 68	3 ^a
2 x ESL 9695	43	35 71	37 32	68 44	44 73	41 35	72 58	29 67	42 ^a 25 ^a
1 x ESL 9635B	40 27	31 80	75 66	67 84	47 47	33 31	36 55	17 31	25 ^a
2 x ESL 9635B	60	39 ^b 49	33 82	43 63	31 50	74 35	47 41	22 30	82 60
1 x DP 5104	30	30 38 ^{b c} 30 ^{b c}	64 74 27	55 59 52	52 24 ^c 52	20 53 50	62 57 48	47 ^c 25 ^c 49 ^c	30 ^a 60
2 x DP 5104		15 10	18 36	17 19	9 17	60 47	51 29	48 65	67 38
1 x DP 9473	13 54	51 72 ^c	57 63 20	20 21 24	68 26 ^c	19 20 16	31 72 52	17 ^c 20 ^c 33 ^c	1 ^a
2 x DP 9473	66	40 52	16 16	21 47	49 18	64 54	35 80	47 22	62 ^{a b}
1 x DP 5715	45 ^c	30 ^c 28 ^c	23 ^c	14 ^c 37 ^c	20 ^c 5 ^c	32 12 ^c	14 ^c 49 ^c	38 ^{b c} 21 ^c	4 ^c 1 ^c
2 x DP 5715	67	66 25	22 49	67 57	52 25	75 24	22 ^c 69	35 60	43 52
ESL 9912A + ESL 8837	75	28 ^b 41 ^b	71 50	85 38	79 74	58 51	35 37	85 68	32 ^c 62

Tableau 3-I. Résultats des essais de cisaillement (*shear tests*) : contraintes de rupture [MPa] nominales obtenues en divisant la force de rupture par la surface brasée nominale de 2.4 mm².

Vert : rupture du composant, décollement de sa métallisation ou rupture de la brasure.

Rouge : rupture du diélectrique, décollement du conducteur ou mauvais mouillage de la brasure.

Beige : cas intermédiaire.

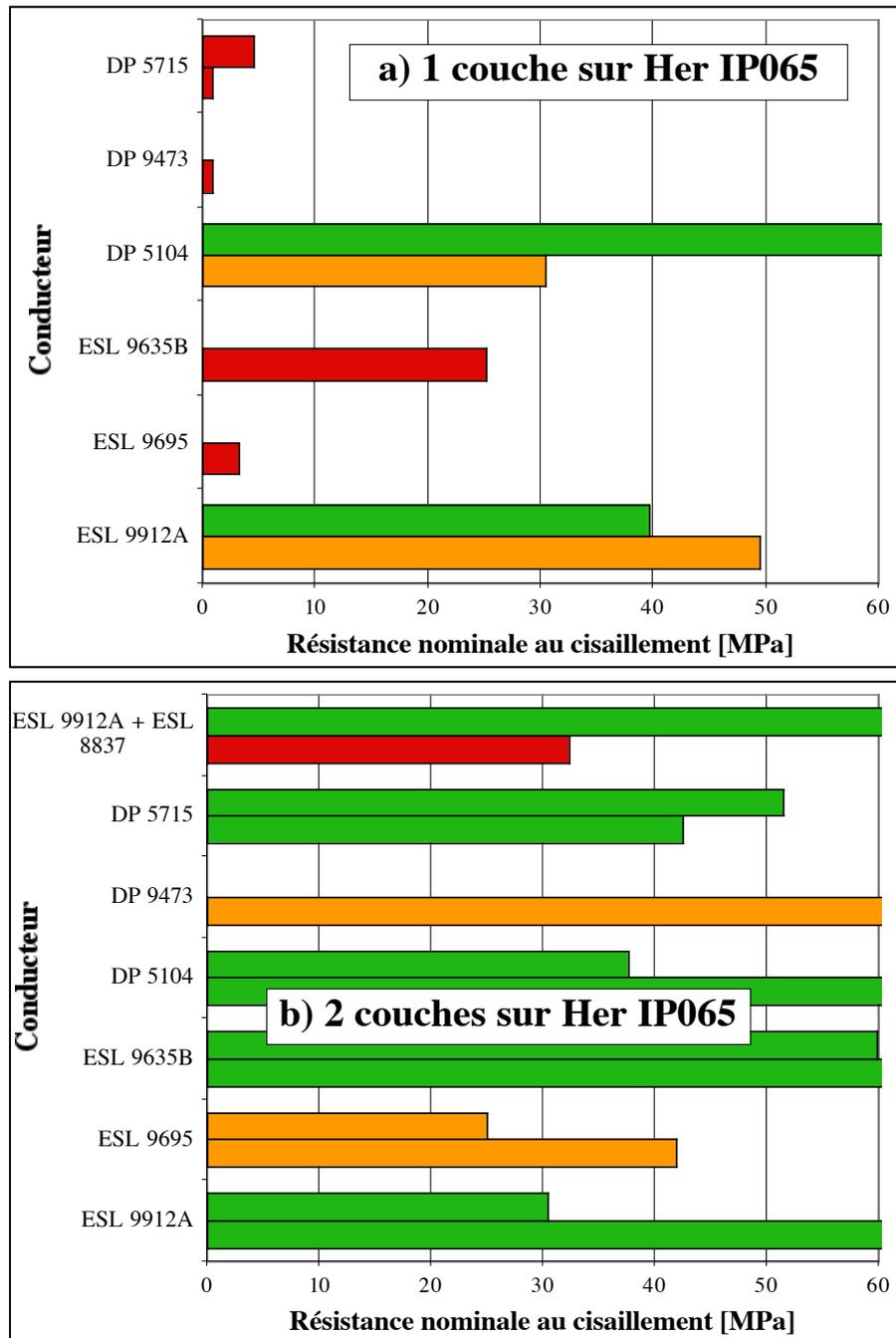


Figure 3-1. Résistance nominale au cisaillement de composants brasés sur verre Her IP065 – problème de pénétration du verre dans le conducteur et mauvais mouillage de la brasure.

a) 1 couche de conducteur; b) 2 couches de conducteur.

Vert : rupture du composant, décollement de sa métallisation ou rupture de la brasure.

Rouge : rupture du diélectrique, décollement du conducteur ou mauvais mouillage de la brasure.

Beige : cas intermédiaire.

4. Conclusions

L'objet de cette étude était l'évaluation de la résistance de joints brasés avec la brasure tendre eutectique Ag–Sn, sur différentes combinaisons de diélectriques et de conducteurs.

Dans l'ensemble, les résultats sont bons, avec des ruptures essentiellement dans le composant (condensateur céramique) et dans la brasure : dans la plupart des cas, le diélectrique et le conducteur ne sont pas limitants. Deux types de phénomènes peuvent cependant mener à des résistances mécaniques très basses des joints brasés. La **diffusion de verre provenant du diélectrique** à travers le conducteur tend à mener à un **mauvais mouillage** du conducteur par la brasure (mode de rupture a ci-dessus), et la **dégradation du conducteur par la brasure**, par dissolution ou réaction, tend à **diminuer l'adhérence du conducteur** sur le diélectrique ou le substrat (mode de rupture c). Quant à la rupture du diélectrique (mode de rupture b), elle n'intervient qu'à partir de sollicitations assez élevées, et ne constitue donc normalement pas un problème.

Les diélectriques Her IP065 (qui est en fait un verre) et ESL 4903 (diélectrique d'une ancienne génération constitué d'un mélange verre + poudre minérale) sont les seuls où l'on constate une diffusion de verre à travers le conducteur. Dans le cas de ESL 4903, on n'observe qu'une légère altération de l'aspect dans le pire des cas, sans qu'on ait pu mettre en évidence un effet sur la résistance mécanique du joint brasé. L'effet de la présence de phase vitreuse libre dans le diélectrique dépend aussi du conducteur : ESL 9912A (Ag) et DP 5104 (Ag:Pd 3:1) y sont peu sensibles, ESL 9635B (Ag:Pd 3:1) est intermédiaire, et ESL 9695 (Ag:Pd 25:1) et DP 9473 (Ag:Pd 3:1) y sont très sensibles. L'adjonction d'un renfort (2^{ème} couche de conducteur) supprime essentiellement le problème.

La dégradation de l'adhérence du conducteur par la brasure est essentiellement constatée sur l'or DP 5715 – qui n'est de toute manière pas destiné à être brasé. Les autres conducteurs, à base d'argent, sont peu ou pas affectés, même avec une seule couche soumise à un cycle de brasage artificiellement long (env. 40 s). Bien qu'elle ne soit pas absolument nécessaire ici, l'adjonction d'un renfort permet d'améliorer la fiabilité. Dans ce cas, on peut probablement obtenir le même résultat avec une seule couche de forte épaisseur.

En conclusion, les diélectriques destinés à l'application sur acier ou dans des circuits multicouches (pas Her IP065) sont tous utilisables dans des assemblages brasés en conjonction avec les conducteurs à base d'argent. L'épaisseur du conducteur doit simplement être suffisante pour en éviter la dégradation par la brasure. Sur le diélectrique ESL 4903, on doit en plus prendre certaines précautions avec la phase vitreuse qui peut diffuser à travers le conducteur et en affecter la mouillabilité par la brasure.

Dans le futur, il convient de répéter cette étude de manière plus contrôlée, avec d'autres brasures (notamment Sn–Pb et / ou Sn–Pb–Ag) et sur d'autres substrats (métaux, zircone, Al_2O_3 pure, et $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$).