



HAL
open science

Frittage de nano-pâte d'argent : impact de la métallisation du substrat sur la tenue à la fatigue thermique des assemblages de puissance

François Le Henaff, Stephane Azzopardi, Jean-Yves Delétage, Eric Woirgard,
Serge Bontemps, Julien Joguet

► To cite this version:

François Le Henaff, Stephane Azzopardi, Jean-Yves Delétage, Eric Woirgard, Serge Bontemps, et al.. Frittage de nano-pâte d'argent : impact de la métallisation du substrat sur la tenue à la fatigue thermique des assemblages de puissance. *Electronique de Puissance du Futur*, Jul 2012, France. hal-00782838

HAL Id: hal-00782838

<https://hal.science/hal-00782838>

Submitted on 14 Feb 2013

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.

Frittage de nano-pâte d'argent : impact de la métallisation du substrat sur la tenue à la fatigue thermique des assemblages de puissance

François Le Hénaff¹, Stéphane Azzopardi¹, Jean-Yves Delétage¹, Eric Woirgard¹, Serge Bontemps², Julien Joguet³

¹ Univ. Bordeaux, IMS, UMR 5218, F-33400 Talence, France

² Microsemi, 26 rue Campilleau, 33520 Bruges, France

³ Cookson Electronics, South Plainfield New Jersey 07080, USA

L'amélioration de la tenue à la fatigue thermique des assemblages d'électronique de puissance à base d'alliages de brasage pour les applications transport (automobile, ferroviaire et aéronautique) est essentielle du fait de l'évolution vers de plus hautes températures de l'environnement de fonctionnement des modules de puissance. Depuis plusieurs années, le frittage de pâte d'argent apparaît comme une des solutions alternatives la plus intéressante compte-tenu des propriétés de l'argent et des possibilités accrues en terme de tenue thermomécanique vis-à-vis des alliages de brasage haute température. L'utilisation de pâte d'argent nanométrique, qui rend possible une réduction de la pression appliquée lors du frittage, permet d'obtenir une tenue mécanique supérieure à 35 MPa en cisaillement. Le vieillissement accéléré des véhicules tests en cyclage passif (-40°C/+125°C, choc, palier de 30 min) montre une évolution significative des performances de l'assemblage par rapport à la métallisation du substrat (argent, cuivre et or), ce qui est loin d'être le cas des assemblages à base d'alliages. En effet, même après 2400 cycles thermiques, aucune dégradation significative n'est apparue.

I. INTRODUCTION

L'augmentation de la présence de l'électronique de puissance dans l'automobile et l'aéronautique, la réglementation RoHS et la limitation des brasures à des températures d'utilisation inférieures à 150°C sont les facteurs influant la recherche de nouvelles techniques de report de composants à semi-conducteur de puissance.

Un grand nombre de solutions a été envisagé afin d'obtenir des assemblages de puissance hautes températures (température de jonction supérieure à 200°C): les alliages à base d'or [1], les assemblages auto-agrippants, les adhésifs conducteurs, la soudure par phase liquide transitoire [2] et le frittage de pâte d'argent [3,4]. Cette dernière technique apparaît comme étant la plus prometteuse du fait des excellentes propriétés de l'argent comme le montre le tableau 1 [5].

Tableau 1 : Propriétés des matériaux de report de puce

Matériaux	Sn-Pb37	Au-Sn30	Argent
Conductivité électrique (10^{+07} .S/m)	6,80	6,20	41
Conductivité thermique (W/m.K)	51	58	430
Coefficient de dilatation thermique	25	16	19,3
Module d'Young (GPa)	40	68	55
Température de fusion (°C)	183	350	961

La technique de frittage de pâte d'argent connaît un développement important depuis les années 2000. Elle se base sur le procédé développé par Schwarzbauer et Khunert au début des années 1990 [6]. Partant d'un frittage de pâte d'argent micrométrique à 250°C sous une pression de 30-40 MPa, de nombreux travaux ont ouvert la voie vers deux directions de développement de cette technique selon le choix de taille des particules d'argent: micrométrique [7] ou nanométrique [8] et selon l'application de pression à l'assemblage durant le frittage. L'étude présente s'est intéressée au report de puce par frittage de pâte d'argent nanométrique sous pression sur différentes métallisations de substrats (DBC métallisation argent, cuivre et or) afin de qualifier l'impact de la métallisation sur la tenue à la fatigue thermique des assemblages.

II. PROCEDURE EXPERIMENTALE

La technologie de report de puces par frittage de pâte d'argent apparaissant comme l'une des principales technologies alternatives aux reports à l'aide de brasures, de nombreuses pâtes d'argent micrométrique et nanométrique sont disponibles sur le marché. Notre étude sur l'évaluation des performances thermique et mécanique en fonction de la métallisation du substrat de cette technologie s'est portée sur une pâte d'argent nanométrique (Argomax 2000) distribuée par Cookson Electronics. Le report de puce à l'aide de cette pâte d'argent s'effectuant sous pression, le laboratoire IMS s'est pourvu d'une presse Instron de capacité 30 kN équipée de plateaux chauffants comme le montre la figure 1.

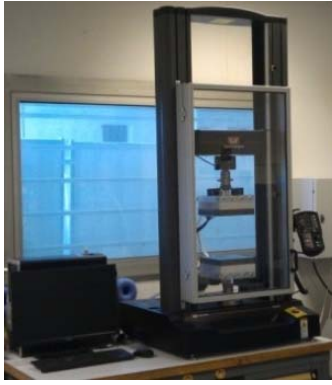


Figure 1 : Presse Instron de 30 kN équipée de plateaux chauffants

Des expérimentations initiales ont montré par le biais de mesures de la tenue en cisaillement et de mesures d'épaisseurs de la couche de pâte d'argent via des micro-sections puis des observations au microscope optique, la bonne répétabilité des reports de puce par pâte d'argent nanométrique avec la presse Instron sur un nombre important de véhicules tests (figure 2).



Figure 2 : Micro-section d'un assemblage fritté montrant l'uniformité de l'épaisseur de la couche d'argent frittée

Afin d'aller plus loin dans cette étude préliminaire, de nouveaux véhicule tests ont été réalisés dans le but d'évaluer la tenue à la fatigue thermique des assemblages frittés en fonction de la métallisation du substrat (argent, cuivre et or). Les composants à semi-conducteur de puissance et les substrats utilisés sont présentés dans les deux tableaux suivants (tableau 2 et tableau 3).

Table 2 : Différent types de substrats utilisés pour l'étude

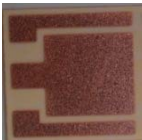




Substrats	DBC Cu	DBC Cu/Ni/Au	DBC Cu/Ag
Photo			
Dimension (mm ²)	50,8*25,4	50,8*25,4	19,5*42,0
Quantité	6	6	6

Table 3 : Différent types de puces utilisées pour l'étude

Puces	Si diode	Si LFET
Photo		
Dimension (mm ³)	3,8*3,8*0,120	6,5*4,0*0,280
Quantité	36	18

L'assemblage des véhicules test présentés en figure 3 a été réalisé en suivant la procédure en trois étapes décrite ci-dessous :

1. Sérigraphie d'une épaisseur de 100 µm de pâte d'argent sur le substrat
2. Pré-frittage permettant l'évaporation des solvants contenus dans la pâte d'argent nanométrique
3. Frittage sous pression (10 MPa) à haute température (inférieure à 300°C) à l'aide de la presse Instron (figure 1).

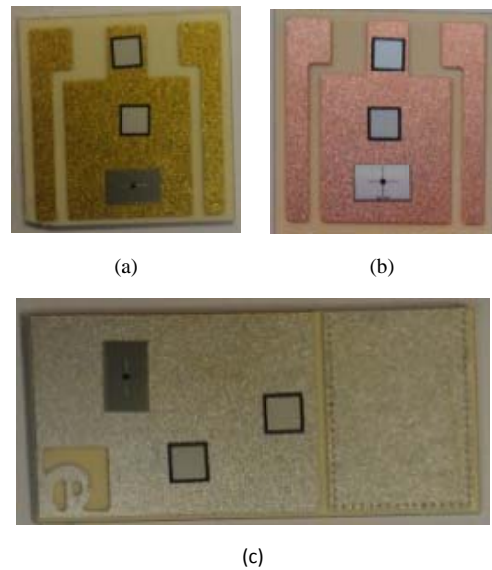


Figure 3: Assemblages frittés de puces sur substrats métallisation (a) Cu/Ni/Au (b) Cu et (c) Cu/Ag

Les 6 véhicules tests assemblés par type de métallisation (18 au total) ont été caractérisés tout d'abord mécaniquement à l'aide d'une Dage Serie 4000 équipée d'un capteur DS 100 Kg (figure 4a) permettant d'obtenir les caractéristiques de la tenue en cisaillement des échantillons. Une enceinte climatique double chambre de chocs thermiques Climats (figure 4b) a permis de réaliser un vieillissement thermique de type choc entre -40°C et +125 °C avec des paliers de 30 minutes : tous les 200 cycles environ, des mesures de résistances et impédances thermiques ont été réalisées afin caractériser thermiquement les assemblages frittés.

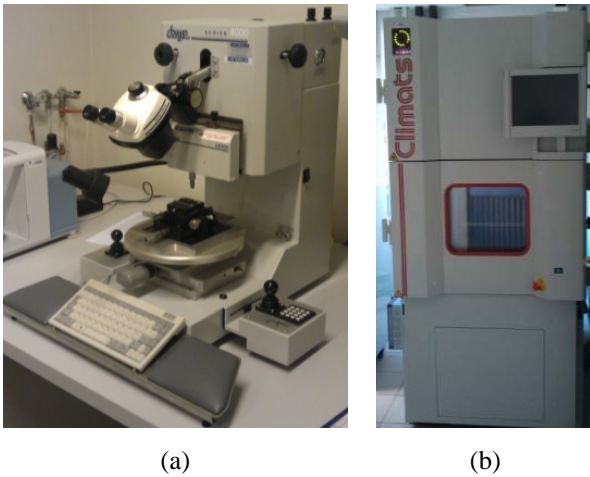


Figure 4 : (a) Dage Serie 4000 et (b) Enceinte thermique Climats

III. CARACTERISATIONS

- Mesures de la tenue au cisaillement

Préalablement au vieillissement thermique des échantillons, des mesures de tenue mécanique au cisaillement ont été effectuées par type de métallisations de substrat et sont présentées dans le tableau 4. A noter que des mesures devaient aussi être effectuées sur les transistors LFET mis à notre disposition mais compte tenu de leurs trop grandes dimensions par rapport à la capacité du capteur utilisé, aucune mesure n'a pu être effectuée (la tenue au cisaillement dépassant les limites de l'appareil).

Tableau 4 : Résistance au cisaillement en fonction de la métallisation du substrat

Métallisation du substrat	Cu	CuAg	CuNiAu
Résistance au cisaillement (MPa)	36	36	35

Ces premières mesures montrent une augmentation significative de la résistance au cisaillement par rapport à celle obtenue avec des alliages hautes températures qui se situe autour de 20 MPa. De plus, l'influence de la tenue en cisaillement de l'assemblage fritté vis-à-vis de la métallisation du substrat est inexistante ce qui ne fut pas le cas lors d'une précédente étude avec une pâte micrométrique où la différence entre un substrat métallisation cuivre et une métallisation argent était de l'ordre du facteur deux : 20 MPa pour une métallisation cuivre et 35 MPa pour une métallisation argent.

- Mesures de résistance et d'impédance thermique

Afin de caractériser thermiquement les véhicules de test, ceux-ci ont été câblés à l'aide de deux fils en aluminium de 250µm de diamètre par puce. Les mesures ont été réalisées par le biais d'un analyseur thermique Analysis Tech Phase 10 illustré par la figure 5. Les figures 6, 7 et 8 représentent l'évolution de la résistance thermique de chaque type d'assemblage en fonction du nombre de cycle.

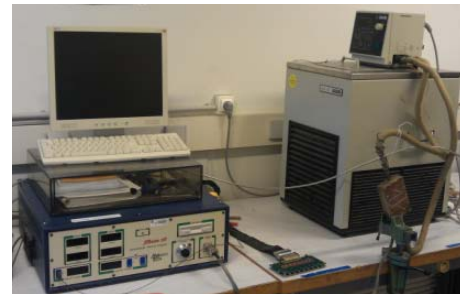


Figure 5 : Analyseur Thermique Analysis Tech

Après 2400 cycles $-40^{\circ}\text{C}/+125^{\circ}\text{C}$, cette évolution ne peut pas être considérée comme représentative de l'apparition de fissures dans l'assemblage mais à une évolution morphologique de l'interface frittée. L'apparition de fissure résulterait en une augmentation brusque de la résistance thermique. Afin de vérifier la non défaillance de l'interface frittée des assemblages, des mesures d'impédances thermiques ont été réalisées sur deux véhicules tests avant vieillissement thermique (0 choc) et après 2400 cycles.

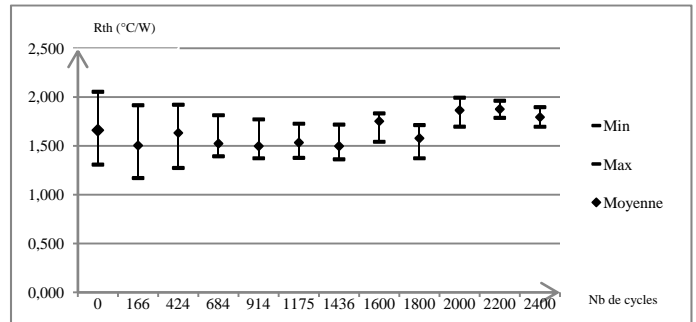


Figure 6 : Evolution de la résistance thermique pour la métallisation cuivre

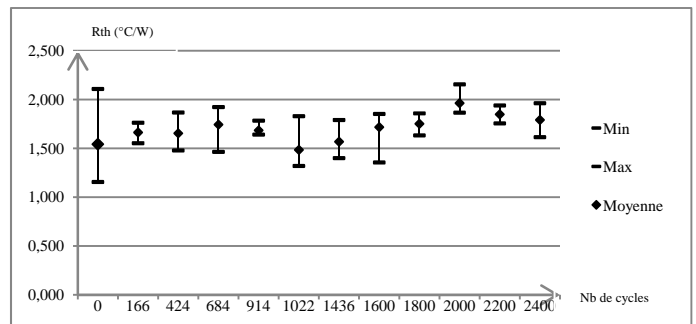


Figure 7 : Evolution de la résistance thermique pour la métallisation argent

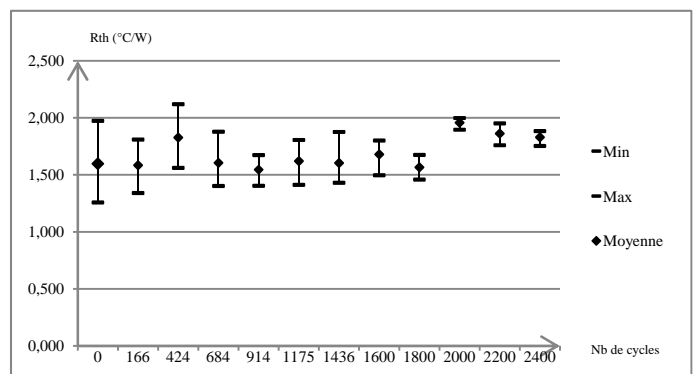


Figure 8 : Evolution de la résistance thermique pour la métallisation or

L'impédance thermique permet de localiser la zone dans laquelle l'apparition de fissure a lieu et de suivre son évolution dans l'assemblage. Les figures 9 et 10 permettent de comparer l'impédance thermique de deux véhicules tests avant vieillissements et après 2400 cycles thermiques. Deux courbes sont représentées sur chaque graphique : l'une représentant les valeurs expérimentales et l'autre la modélisation par un modèle RC à 3 cellules découlant des valeurs expérimentales obtenues.

Les résultats observés corroborent les conclusions déduites des mesures de résistances thermiques du fait qu'aucune évolution brutale n'est visible sur ces courbes.

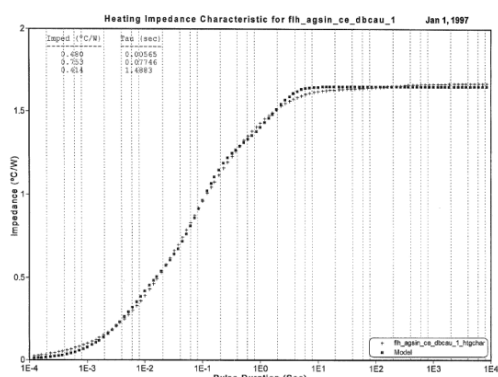


Figure 9 : Impédance thermique d'un assemblage (DBC Au - diode Si 3.8*3.8 mm²) à 0 choc

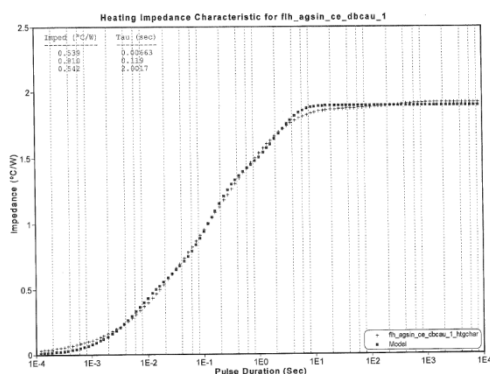


Figure 10 : Impédance thermique d'un assemblage (DBC Au - diode Si 3.8*3.8 mm²) après 2400 cycles thermiques de vieillissement

- Observations de micro-section au microscope optique

Les mesures de résistance et d'impédance thermiques ont montré que les véhicules tests ne sont toujours pas entrés en défaillance (critère de défaillance choisi : augmentation de 20% de la résistance thermique de l'assemblage, compte tenu des dispersions par échantillon). Afin de qualifier l'interface frittée après 2400 cycles de vieillissement, une analyse optique par micro-sections à l'aide d'un Olympus Microscope a été menée pour observer l'évolution des interfaces. Les figures 11(a) à (d) montrent des observations optiques de deux véhicules tests (métallisation or) avant vieillissement et après 2400 cycles. Ces observations ont permis de confirmer les mesures thermiques menées (résistances et impédances thermiques). En effet, aucune fissure ou évolution de la couche d'argent n'est observable après 2400 cycles de vieillissement.

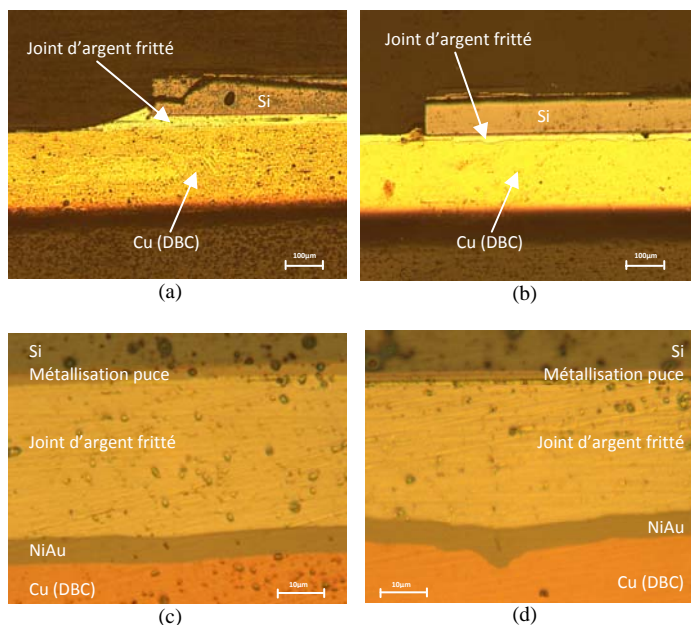


Figure 11 : Observation optique de micro-sections - avant (a) et (c) et après 2400 cycles thermiques (b) et (d). Les images (a) et (b) sont obtenues avec un zoom x5 et les images (c) et (d) avec un zoom x100. A noter la cassure de la puce lors du polissage initial.

IV. CONCLUSIONS

L'objectif de cette étude était d'étudier l'influence de la métallisation (cuivre, argent et or) du substrat sur la tenue mécanique et thermique d'assemblages réalisés par la technique de frittage de nano-pâte d'argent. La tenue en cisaillement montre que la métallisation du substrat a une influence très limitée voire inexistante. La seconde étape était d'effectuer un vieillissement accéléré par choc thermique entre -40°C et +125°C et d'observer l'évolution de la résistance thermique en fonction du nombre de cycles et de la métallisation du substrat. De possibles différences d'évolution n'ont pas encore pu être mise à jour après 2400 cycles de vieillissement thermique. Ceci confirme que le report de puce par frittage de pâte d'argent nanométrique semble évoluer de la simple alternative aux alliages de brasures vers une avancée importante pour la fiabilité des assemblages de puissance.

Les vieillissements se poursuivent à ce jour et des analyses au Microscope Electronique à Balayage sont envisagées dès qu'une défaillance apparaîtra sur un échantillon vieilli. Ainsi, il sera possible de faire une analyse plus fine de la microstructure du joint fritté.

V. REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été co-financés par un programme national FIDEA (programme ANR VTT 2010) et un programme régional ASPEEC (CRA).

VI. REFERENCES

[1] V. Manikam et al., *Die Attach Materials for High Temperature Applications: A Review Components, Packaging and Manufacturing Technology*, IEEE Transactions on, 2011, pp. 457-478

- [2] K. Guth et al., *New assembly and interconnects beyond sintering methods*, Proceedings of PCIM, 2010, 232-237
- [3] C. Göbl et al., *Low temperature sinter technology Die attachment for automotive power electronic applications*, Automotive Power Electronics, 2006
- [4] W. Wissam et al., *Evaluation of silver-sintering die attach*, CIPS 2012, Nuremberg, 6-8 mars 2012
- [5] Z. Zhang, *Processing and characterization of micro-scale and nanoscale silver paste for power semiconductor device attachment*, Thèse Univ. Ingénierie électronique. Virginia Polytechnic Institute (USA), 2005
- [6] H. Schwarzbauer et al., *Novel large area joining technique for improved device performance*, IEEE Transactions on Industry applications, vol.27, no.1, January/February 1991
- [7] W. Schmitt, *Novel silver contact paste lead free solution for die attach*, CIPS 2010
- [8] G. Lu et al., *Low-temperature and pressureless sintering technology for high-performance and high-temperature interconnection of semiconductor devices*, IEEE, 8th. Int. Conf. on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems, EuroSime 2007.