



HAL
open science

Frittage d'une pâte de nano-poudres d'argent : une solution alternative aux brasures classiques haute température

Amandine Masson

► **To cite this version:**

Amandine Masson. Frittage d'une pâte de nano-poudres d'argent : une solution alternative aux brasures classiques haute température. JCGE, Dec 2011, Belfort, France. pp.1-10. hal-00707812

HAL Id: hal-00707812

<https://hal.science/hal-00707812>

Submitted on 13 Jun 2012

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 d'une pâte de nano-poudres d'argent : une solution alternative aux brasures classiques haute température

Amandine MASSON

Université de Lyon – INSA de Lyon – Laboratoire Ampère UMR 5005
20, avenue Albert Einstein – 69100 Villeurbanne
amandine.masson@insa-lyon.fr

RESUME – Face aux limitations des composants en silicium pour des applications haute température (au-delà de 175 °C), de nombreuses recherches ont été menées sur d'autres matériaux comme le carbure de silicium (SiC). Depuis 2001, des composants de puissance en SiC sont disponibles sur le marché: cependant, l'environnement de la puce (brasures, polymères, encapsulants...) doit être entièrement modifié afin de pouvoir résister à des températures ambiantes supérieures à 200 °C. Cet article présente le frittage de nano-poudres d'argent, une technique d'attaches de puces alternative aux soudures classiques pour des applications haute température. Le travail réalisé porte sur l'optimisation du procédé expérimental, la caractérisation des propriétés morphologiques et mécaniques du joint. L'originalité de cette étude porte sur nombre important d'assemblages réalisés permettant d'étudier l'influence de très nombreux paramètres (épaisseur de la pâte déposée, pression, rugosité du substrat, taille de la puce) sur la qualité de l'attache. Cet article présente aussi les résultats d'essais de frittage simultané de deux puces sur un même substrat.

ABSTRACT – Silicon devices are commonly used in power electronics modules but they are not reliable over 175°C. Different materials have been studied and silicon carbide dies are commercially available since 2001: they can be used at 200°C and more. However, classical environment (solders, polymers...) are not adapted for that range of temperature and a new packaging must be considered. Classical solders are not adapted for high temperature applications because the device can be damaged during the assembly process. Different alternatives, known as "Low Temperature Joining Techniques", are realized at low temperature whereas the melting point of the final attach is much higher. This article will focus on nano-silver sintering and particularly on the study of experimental parameters: a large number of samples have been realized in order to determine an optimized process. Die-attaches have been characterized by microscopic techniques and using a shear-test equipment. First, this article describes briefly some theoretical considerations, then, the experimental procedure is described and the major experimental results are given.

MOTS-CLÉS – Attache de puce, Frittage, SiC, Haute température, Nanoparticules.

1. Introduction

Ce travail s'intègre dans le projet EPAHT (Etude du Packaging pour l'électronique de puissance Haute Température) financé par la FNRAE (Fédération Nationale de Recherche pour l'Aéronautique et l'Espace) dont l'objectif est de réaliser un bras d'onduleur constitué de composants en SiC et fiable en cyclage entre - 45° C et + 200°C de température ambiante.

Un module de puissance est constitué de différents éléments (voir figure 1) : semelle, substrat, composants, fils de bonding, brasures. Le travail réalisé ici s'intéresse uniquement à la brasure entre l'arrière de la puce et la métallisation supérieure du substrat métallique isolé.

Compte-tenu de la détérioration des composants en SiC soumis à des températures élevées (400 °C et plus) pendant des durées prolongées, les techniques de brasure habituelles, relativement longues, ne peuvent être utilisées pour réaliser le joint entre le substrat et la puce SiC.

Les attaches de puces devant être effectuées à une température limitée, deux techniques ont été sélectionnées pour ce projet: le frittage d'une pâte contenant des nanoparticules d'argent [1] et le Transient Liquid Phase Bonding or-étain [2]. L'intérêt de ces méthodes est que la température de process est très largement inférieure à la température de fusion du joint final ce qui permet de ne pas endommager les composants.

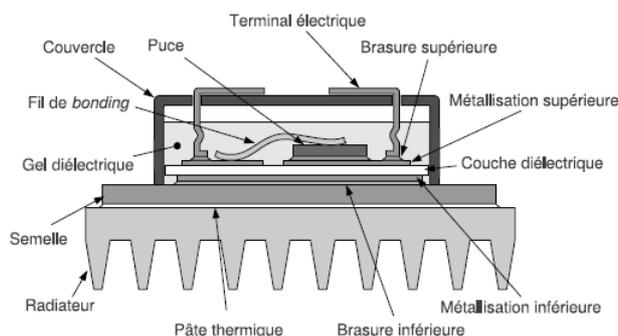


Figure 1 : Schéma d'un module de puissance.

Cet article se focalise sur le frittage d'argent qui est la solution pour laquelle les résultats expérimentaux obtenus sont les plus pertinents. Différentes études ont été menées sur quelques paramètres expérimentaux d'influence du frittage: cet article met en évidence l'impact de paramètres jamais encore étudiés à notre connaissance, ce qui a permis d'établir un protocole expérimental fiable pour la réalisation d'attaches de puces pour des applications haute température.

Cet article présentera tout d'abord quelques données théoriques sur le frittage, puis la démarche expérimentale suivie pour l'optimisation du protocole de réalisation d'un joint et enfin les résultats des caractérisations des attaches.

2. Le frittage : bases théoriques :

Le frittage est une technique qui permet d'obtenir une pièce dense à partir d'une poudre : il existe plusieurs types de frittage (voir figure 2) selon l'état physique dans lequel se présente le matériau lors du process, le nombre de matériaux impliqués et la charge à appliquer [3].

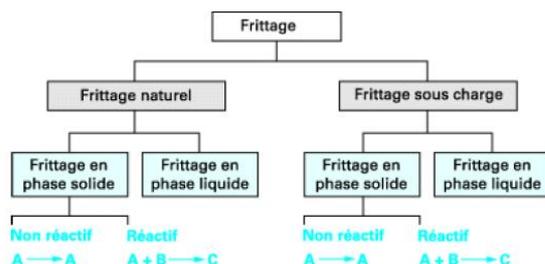


Figure 2 : Description des différents types de frittage [3].

Le frittage consiste en une augmentation de la taille des particules associée à la diminution du volume des pores internes. Traditionnellement utilisé pour la fabrication de céramiques, l'utilisation du frittage s'est élargie aux métaux (fer, cobalt, nickel) ainsi qu'aux polymères (PEEK par exemple).

Les conditions expérimentales comme la température de frittage, la pression appliquée, la durée du process ou la taille des particules initiales sont des paramètres qui ont une influence sur la qualité de la pièce finale.

2.1 Les différentes étapes du frittage

Le frittage se décrit comme la succession de trois étapes (voir figure 3) : le déliantage, le frittage suivi d'une éventuelle dilatation de l'échantillon.

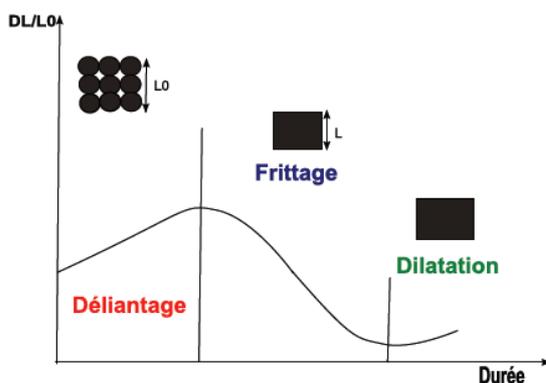


Figure 3 Evolution des dimensions d'une poudre au cours du frittage.

2.1.1 Le déliantage

Le déliantage est une étape préliminaire au frittage qui permet l'évacuation des différents solvants (liant, diluant, dispersants, additifs) qui enrobent les particules à fritter. Cette étape est primordiale pour préparer le frittage car elle évite la formation de défauts graves dans la pièce frittée dus à l'emprisonnement dans les pores de gaz provenant des composés organiques présents initialement dans l'échantillon.

2.1.2 Le frittage

Après la volatilisation des solvants organiques, commence l'étape de frittage [4,5] à proprement parler qui permet d'obtenir une pièce massive dont le volume des pores est variable (voir figure 4).

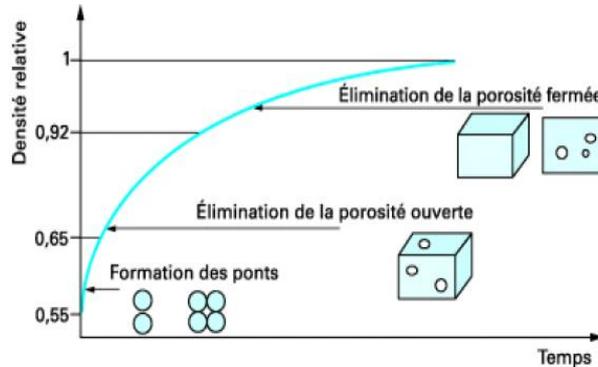


Figure 4 : Schématisation du mécanisme de densification lors du frittage [3].

L'étape de frittage se caractérise par un retrait (diminution des dimensions) et par une densification (réduction du volume). La densification est obtenue par le réarrangement des particules lorsqu'elles se rapprochent : il y a création de ponts entre les grains qui grossissent [3]. Dans le même temps, on observe l'élimination de la porosité ouverte qui correspond à l'ensemble des pores traversant les joints de grains et qui sont reliés à l'extérieur du système. La dernière étape consiste à éliminer la porosité fermée c'est à dire les pores présents entre les grains, dans le pièce.

La qualité d'une pièce frittée s'estime par le calcul de sa porosité ($p = \text{Volume}_{\text{pores}} / \text{Volume}_{\text{Total}}$) qui doit être la plus proche possible de 0.

2.1.3 La dilatation

A la fin du frittage, on peut observer une légère augmentation du volume de la pièce frittée : c'est généralement le cas pour les alliages, cela s'explique par la formation de nouvelles liaisons interatomiques.

2.2 Aspects thermodynamiques du frittage

Un système évolue spontanément vers une diminution de son enthalpie libre G (1) pour une réaction à température et pression constantes. Dans le cas du frittage en phase solide, la diminution d'enthalpie libre est obtenue par le remplacement des interfaces solide-gaz (A_{sg}) par des interfaces solide-solide (A_{ss}) [3, 4, 5].

$$\Delta G = (\Delta A_{sg} \cdot \gamma_{sg}) + (\Delta A_{ss} \cdot \gamma_{ss}) \quad (1)$$

A chaque type d'interface correspond une énergie de surface (γ) ou tension superficielle qui dépend uniquement du matériau considéré: les interfaces A_{ss} sont associées à γ_{ss} et les interfaces A_{sg} à γ_{sg} .

Au fur et à mesure de l'avancement du frittage, la valeur de l'angle de raccordement α augmente (voir figure 5) jusqu'à une valeur limite α_c : c'est l'angle d'équilibre du système, $\Delta G = 0$ et le frittage s'arrête.

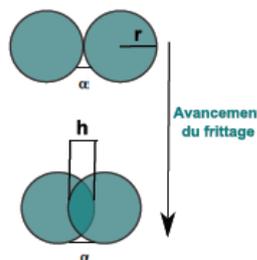


Figure 5 : Evolution de la valeur de l'angle α au cours du frittage.

2.3 Le frittage de poudres d'argent

Traditionnellement utilisé pour la fabrication de céramiques, le frittage s'est étendu à de nombreux métaux comme le fer, le cuivre, le molybdène ou l'argent. L'argent est un métal bien adapté à la fabrication de brasure car il possède une température de fusion élevée (861°C) et une très bonne conductivité thermique. La poudre d'argent se

présente sous forme d'une pâte contenant des particules métalliques enrobées par des composés organiques (liant, diluant dispersant) qui empêchent la formation d'agglomérats. Il existe deux types de pâte d'argent : une pâte contenant une poudre de taille micrométrique et une pâte contenant des particules nanométriques, c'est cette dernière qui a été utilisée pour la réalisation des attaches présentées dans cet article.

Les micro-pâtes sont particulièrement employées par les industriels qui sont réticents à utiliser des nanoparticules compte-tenu de leur nocivité potentielle. Des modules réalisés avec ce type de pâte sont actuellement commercialisés par Semikron. Le principal inconvénient des micro-pâtes est la nécessité d'appliquer une pression lors de l'assemblage qui peut conduire à la dégradation du composant. Des études sont actuellement en cours chez Heraeus [6] et Bosch [7] dans le but de réaliser une micro-pâte pouvant être frittée sans pression.

Les nano-pâtes d'argent sont principalement utilisées dans le monde académique : la pâte la plus couramment utilisée a été développée au CPES (Virginia Tech) et a fait m'objet de nombreuses études qui ont permis de déterminer certaines conditions expérimentales de frittage optimales [8, 9 10].

3. Mode opératoire

Le joint d'argent a été réalisé en utilisant une pâte de type Nanotach (commercialisée par la société NBE Tech) contenant des composés organiques et des particules d'argent de 8 à 12 nm de diamètre. Le véhicule de test étudié dans le présent article est constitué d'un substrat métallique isolé sur lequel est attachée une puce (voir figure 6).

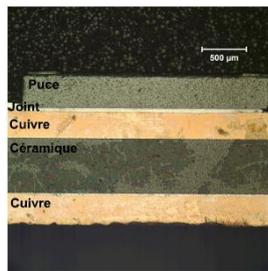


Figure 6 : Image en microscopie optique en champ clair d'un assemblage type (série T).

3.1 Réalisation de l'attache de puce

La fabrication d'un joint par frittage d'argent [11] se fait en trois étapes : préparation du substrat et de la puce, dépôt de la pâte et frittage de la pâte. Le substrat métallique doit être nettoyé préalablement au dépôt de pâte: il est tout d'abord plongé durant cinq minutes dans une solution d'acide sulfurique concentré afin d'enlever les traces d'oxydation. Après rinçage, le substrat est placé dans bain d'éthanol dont l'agitation est assurée par des ultrasons pour dissoudre les contaminants organiques. Dans, le cas des substrats polis, nous avons eu recours à des DBC classiques dont le polissage a été réalisé au laboratoire avant les étapes de nettoyage précédemment décrites. En raison de la fragilité de ses contacts en face supérieure, la puce ne subit qu'un nettoyage à l'éthanol.

Le dépôt de pâte d'argent est effectué grâce à une machine de sérigraphie manuelle (voir figure 7.a) équipée de masques métalliques de 50 et 100 μm d'épaisseur.

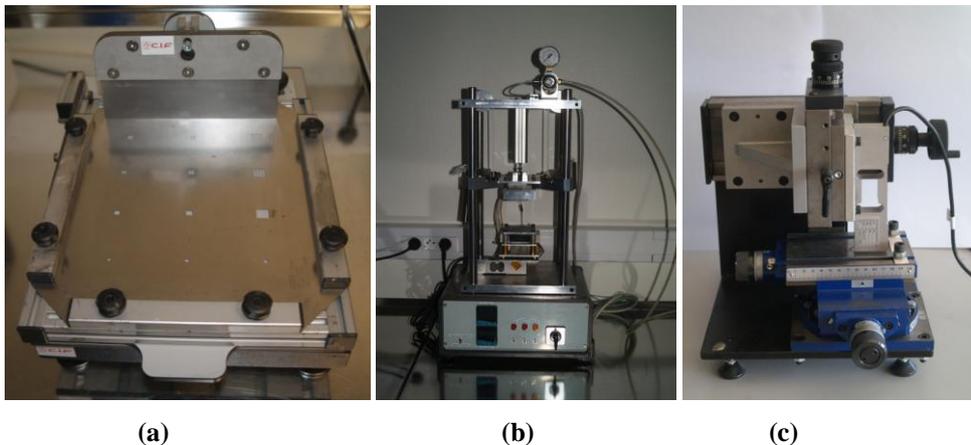


Figure 6 : Equipement utilisé pour le frittage d'argent : machine à sérigraphier (a) et presse chauffante (b). Les joints sont caractérisés mécaniquement en utilisant un banc de shear-test (c).

Après avoir effectué le dépôt, la puce est positionnée sur la pâte, et l'assemblage est placé dans la presse chauffante. Le frittage de la pâte s'effectue sous pression et à une température de 285 °C : pour cela, une presse chauffante (voir figure 7.b) a été développée spécialement pour la réalisation d'assemblages avec de petites puces (2,7 x 2,7 mm²).

Une fois réalisés les joints sont caractérisés en shear-test (cisaillement, voir figure 7.c): on mesure leur tenue à l'arrachement. Les coupes micrographiques permettent de mesurer l'épaisseur du joint et d'évaluer sa qualité (uniformité, homogénéité) grâce à des images en microscopie.

3.2 Optimisation du procédé

Le profil de frittage suivi est identique pour tous les assemblages (voir figure 8) et les paramètres utilisés sont ceux qui ont été déterminés comme optimaux lors de précédentes études [8, 9, 10].

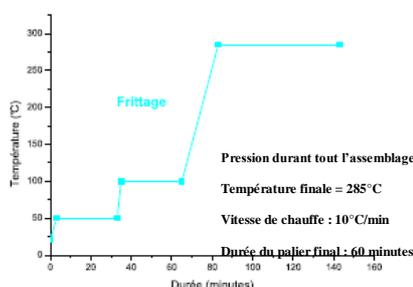


Figure 8 : Profil de température et conditions suivis pour le frittage de nanoparticules d'argent.

Lors de la réalisation de deux dépôts de pâte, la première couche est séchée (jusqu'à 180°C), la deuxième couche est elle frittée normalement. Pour la réalisation de deux attaches simultanées sur le même substrat, une interface en polymère (Viton ou PTFE) a été placée entre la face supérieure de la puce et la plaque supérieure de la presse chauffante afin d'appliquer une pression uniforme et identique sur chacun des assemblages

Cependant, l'optimisation du procédé de base a nécessité la réalisation d'un grand nombre de séries d'échantillons afin de déterminer l'influence de certains paramètres (rugosité du substrat, épaisseur du dépôt, taille de la puce, nature de la métallisation du substrat) sur la qualité du joint (les différentes combinaisons de paramètres sont données dans le tableau 1).

Table 1 : Description des différentes séries d'assemblages réalisés.

Série	Substrat	Puce (surface en mm ²)	Dépôt de pâte	Pression	Remarque
A'	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	50 µm	6 MPa	
B	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	50 µm	6 MPa	Scrubbing
C	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	50 µm	6 MPa	Métallisation finale or
D	Si ₃ N ₄	SiC 2,7 x 2,7	50 µm	6 MPa	Si ₃ N ₄ métallisation finale or
E	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	50 µm	6 MPa	DBC poli
F	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	100 µm	6 MPa	Dépôt de 100 µm
G	DBC Cu	Si 12,7 x 12,7	50 µm	1 MPa	DBC poli, graphite
H	DBC Cu	Si 12,7 x 12,7	50 µm	1 MPa	DBC poli
J	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	50 µm	0,7 MPa	DBC poli, faible pression
K	DBC Cu	Si 12,7 x 12,7	50 µm	1 MPa	DBC poli, silicone
M	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	50 µm	6 MPa	DBC poli, série pour cyclage
N	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	2 *50 µm	6 MPa	DBC poli
O	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	100 µm	6 MPa	DBC poli
P	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	50 µm	6 MPa	DBC poli, 2 puces, Viton
Q	DBC Cu	SiC 2,7 x 2,7	50 µm	6 MPa	DBC poli, 2 puces, PTFE
R	DBC Cu	Si 12,7 x 12,7	50 µm	1 MPa	DBC poli, PTFE
S	DBC Cu	Si 12,7 x 12,7	50 µm	1 MPa	DBC poli, Viton
T	Si ₃ N ₄	SiC 2,7 x 2,7	2*50 µm	6 MPa	Si ₃ N ₄ métallisation finale or

4. Résultats expérimentaux

4.1 Assemblages de puces SiC 2,7 x 2,7 mm²

4.1.1 Tenue en shear-test

La tenue mécanique de l'attache est évaluée grâce à un banc de shear-test (figure 7.c) qui a été mis en place spécialement pour caractériser la tenue en cisaillement de l'attache de puces de petite taille. Pour chaque série, cinq échantillons ont été évalués afin de déterminer la qualité et la reproductibilité de l'attache (voir figure 9).

L'étude de la tenue en shear-test des résultats permet de mettre en évidence l'influence de plusieurs facteurs :

- la rugosité du substrat : si on compare les séries A' (cuivre brut) et E (cuivre poli), on remarque que la dispersion des résultats pour la série E est très faible. On constate aussi une dispersion des résultats importante pour les séries C et D. On remarque cependant que les tenues sont plus élevées pour les attaches de la série D qui a un substrat moins rugueux (233 nm) que celui de la série C (933nm) ;
- la nature de la métallisation : si on compare les séries E (cuivre) et D (or), on remarque que la meilleure tenue est obtenue sur l'or ;
- l'épaisseur de la couche : si on compare les séries E, F et N, on constate que la meilleure tenue au cisaillement et la plus faible dispersion se retrouve dans la série E. Sur un substrat cuivre poli, l'épaisseur la plus adaptée est de 50 µm. Par contre, on remarque que la tenue en shear-test la plus élevée (60 MPa minimum) et la dispersion la plus faible sont obtenues pour un double dépôt de 50 µm sur un substrat or de faible rugosité. Sur cuivre et contrairement à l'or, l'augmentation de l'épaisseur du dépôt a un effet délétère sur la tenue en shear-test ;
- la pression d'assemblage : bien que les spécifications techniques de la pâte indiquent qu'un frittage sans pression est possible pour les puces de surface inférieure à 3 x 3 mm². Cependant, les essais réalisés avec une pression de 0,7 MPa (série J) montrent que la dispersion des tenues au cisaillement est très grande. De plus, pour cette série de cinq assemblages, deux ont une résistance inférieure à 1 MPa. Une pression suffisante est nécessaire même pour les puces 2,7 x 2,7 mm² [11].

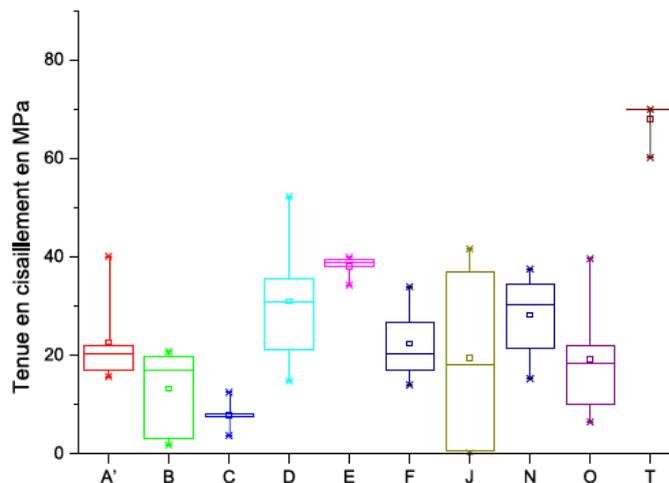


Figure 9 : Représentation en boîte à moustache de la tenue en shear-test des assemblages des différentes séries. Les croix correspondent aux valeurs extrêmes, les traits verticaux à la valeur médiane et la hauteur de la boîte permet d'évaluer la dispersion des résultats.

4.1.2 Etude microscopique des attaches de puce

Pour chaque série d'échantillons, un assemblage a été enrobé puis découpé et poli afin d'être étudié en microscopie optique. L'influence de différents paramètres d'assemblages a été mise en évidence grâce aux essais mécaniques de shear-test.

Si on s'intéresse à la rugosité, on peut comparer les séries A' (cuivre brut) et E (cuivre poli) : on constate alors que le polissage du substrat permet de fabriquer une attache de puce sans défauts d'épaisseur constante moyenne de 9 µm (voir figure 10). Sur substrat cuivre brut (série A'), on constate la présence de nombreux vides et une épaisseur de joint très variable (de 0 à 14 µm).

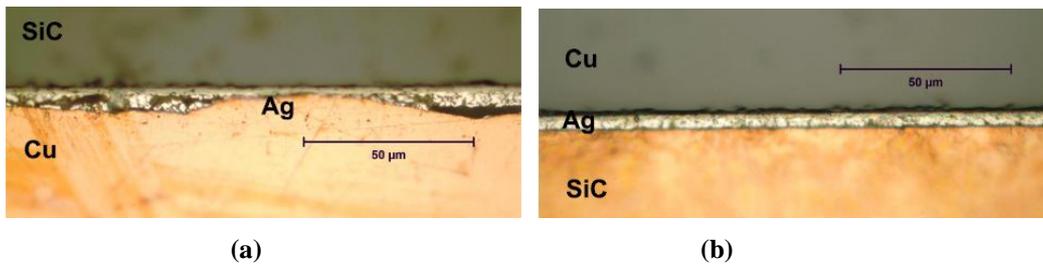


Figure 10 : Image en microscopie optique d'un joint de la série A' (a) et d'un joint de la série E (b).

De même, pour les substrats or, si on s'attarde à l'étude des substrats après shear-test, on constate que sur l'échantillon de la série D, c'est la métallisation qui a été en partie arrachée, contrairement au substrat C qui présente encore une grande quantité d'argent sur sa surface (voir figure 11).

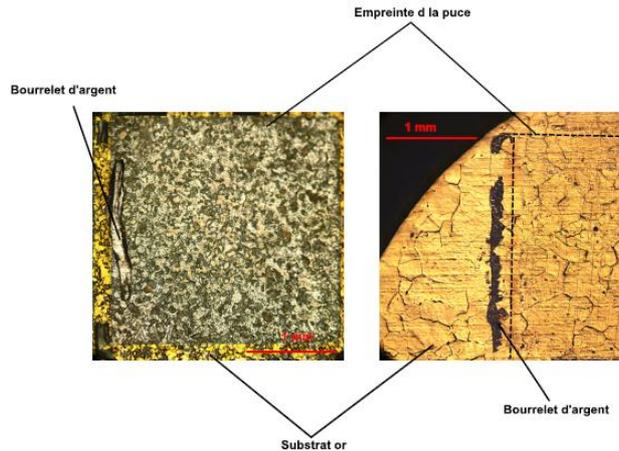


Figure 11 : Etat de surface des substrats de la série C (à gauche) et de la série D (à droite) après shear-test.

Lorsqu'on réalise deux dépôts d'argent successifs sur un substrat cuivre poli (série N), on remarque sur l'échantillon analysé en shear-test que la surface est très oxydée. L'oxydation a pu avoir lieu lors du séchage de la première couche ou lors du frittage : c'est cette oxydation qui a empêché le bon mouillage du second dépôt de pâte.

Lorsqu'on réalise un double dépôt sur substrat or (série T), la question de l'oxydation de surface n'a plus lieu d'être et on obtient un joint plus épais que lorsqu'on effectue un seul dépôt (45 µm au lieu de 12 µm pour un dépôt unique). Le joint ne présente pas de défauts particuliers et son épaisseur est homogène (voir figure 12). L'épaisseur du joint étant plus importante, sa résistance mécanique est plus élevée : c'est ce qui a été montré lors des essais de shear-test puisqu'un échantillon a une tenue de 60 MPa, les quatre n'ayant pu être caractérisés à cause des limites du banc de shear-test (leur tenue au cisaillement est supérieure à 70 MPa).

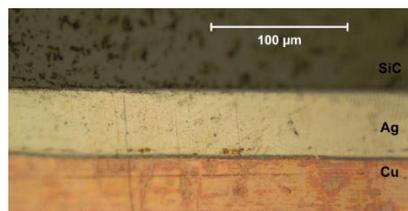


Figure 12 : Image en microscopie optique d'un joint de la série T.

L'étude des paramètres d'influence du frittage pour des attaches de puces de 2,7 x 2,7 mm² permis de montrer que la rugosité et la nature de la métallisation du substrat avaient une importance primordiale sur la tenue de l'attache finale.

4.2 Assemblage simultanée de deux puces sur un unique substrat

Les essais d'assemblage de deux puces simultanément sur un même substrat avaient pour but de vérifier que l'application de la pression était uniforme sur chacun des composants.

Le premier essai a été réalisé sur du cuivre brut : après l'assemblage, on peut constater que les puces présentent des zone de fracture : l'utilisation d'un matériau d'interface entre la puce et la plaque supérieure de la presse a été essayée.

Des assemblages ont été réalisés avec deux polymères, le Viton (série P) et le PTFE (série Q): on remarque que seul le Viton prévient la dégradation des puces (voir figure 13) ce qui peut s'expliquer par son élasticité qui lui permet de se déformer. On remarque aussi que lorsqu'on utilise du Viton, les deux puces présentent le même profil après frittage (voir figure 14) : la pression est appliquée uniformément sur les puces en cas d'utilisation du Viton.

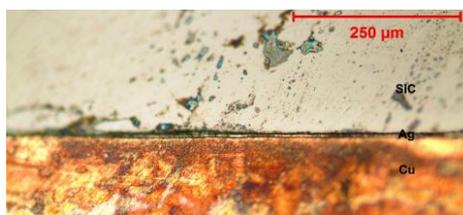


Figure 13 : Image en microscopie optique d'un joint de la série P.

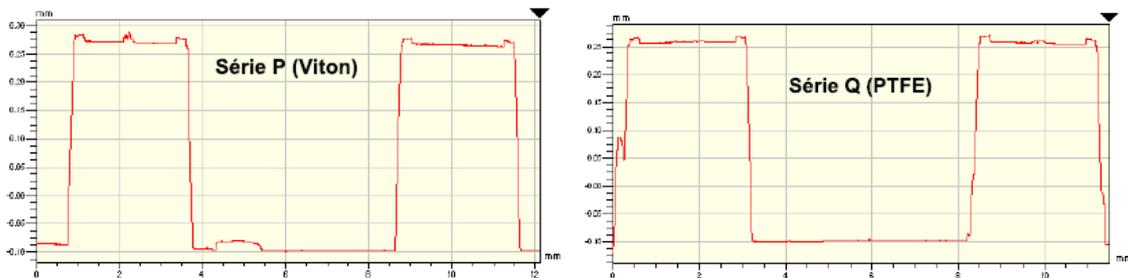


Figure 14 : Profil (réalisé au Dekta 150) des assemblages de deux pièces réalisés avec des interfaces polymères.

La réalisation de deux attaches de puces simultanément est possible : l'emploi d'une interface polymère température se déformant facilement est nécessaire. Le Viton apparait comme un choix excellent.

4.3 Réalisation d'attaches de puces pour des puces silicium 12,7 x 12,7 mm²

Quatre séries d'assemblages ont été réalisées avec de grandes puces de 12,7 x 12,7 mm² en silicium car il n'existe pas de composants en SiC de cette taille. Un dépôt de pâte de 50 μm a été effectué sur un substrat cuivre poli puis l'assemblage a été réalisé. On constate que pour l'assemblage réalisé sans couche d'interface entre la puce et la plaque supérieure de la presse, la puce présente de nombreuses cassures et il a été décidé d'utiliser une interface (comme pour les assemblages simultanés de deux puces). L'essai réalisé avec du silicone (série K) n'a pas été concluant car l'interface a en partie fondu sur la puce et il n'a pas été possible d'enlever tous les résidus restants. Le PTFE (série R) et le Viton (série S) ont aussi été utilisés et les résultats obtenus ont corroboré les constatations réalisées avec les assemblages de deux puces : seul le Viton permet de ne pas dégrader les puces (voir figure 15). Avec un dépôt de pâte de 50 μm, l'épaisseur du joint final est de l'ordre de 12microns.

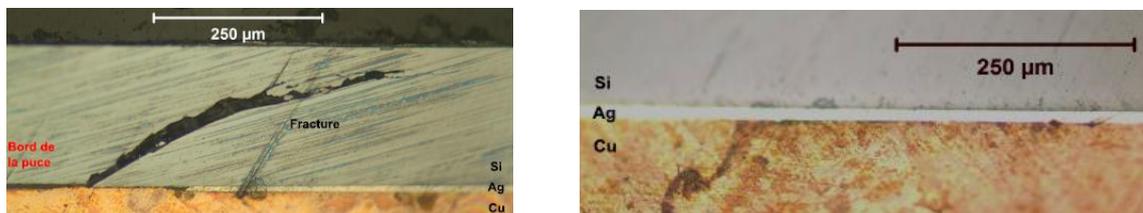


Figure 15 : Images en microscopie optique d'un joint de la série R (à gauche) et d'un joint de la série S (à droite).

Il n'a pas été possible d'effectuer une caractérisation en shear-test à cause des capacités de notre capteur qui sont trop limitées pour des puces de cette surface.

5. Conclusion

Ce travail a été effectuée en utilisant la nano-pâte vendue par le NBETech : l'optimisation de la technique d'attache de puce par frittage ne peut donc se faire qu'en modifiant les conditions expérimentales puisque nous ne nous pouvons modifier la pâte elle-même. Les paramètres de frittage (vitesse de chauffe, température et durée du frittage), ayant été largement étudiés et optimisés [8, 9, 10], le travail présenté ici s'est principalement intéressé aux interfaces et à l'épaisseur du dépôt de pâte ainsi qu'à l'influence de la pression et de la taille des puces. Cet article a mis en évidence l'influence de la rugosité du substrat, de la nature de la métallisation, de l'épaisseur du dépôt de pâte et de la pression. Pour les puces de 2,7 x 2,7 mm², l'application d'une pression est indispensable. Si le substrat utilisé est un DBC, les conditions optimales permettant d'obtenir un joint homogène et d'épaisseur uniforme (9 μm) est d'effectuer le frittage sous pression suffisante (6 MPa) d'un dépôt de 50 μm sur du cuivre poli : on obtient alors une attache de puce dont la résistance en shear-test est de l'ordre de 40 MPa. L'augmentation du nombre de dépôt ne conduit pas à un joint plus épais en raison de l'oxydation du cuivre qui empêche le mouillage de la seconde couche d'argent. L'augmentation de l'épaisseur de la couche d'argent déposée en une seule passe ne permet pas d'obtenir un joint plus épais car une grande partie de la pâte est rejetée à l'extérieur du joint lors de l'application de la pression.

Sur un substrat or, qui est insensible à l'oxydation, l'augmentation de l'épaisseur d'argent par dépôt de deux couches conduit à un joint plus épais et donc plus résistant en shear-test (au moins 60 MPa pour deux dépôts de pâte). La rugosité du substrat doit être faible pour obtenir un joint fiable et reproductible.

Les essais d'assemblages réalisés avec des petites puces ont démontré l'importance de l'état de surface du substrat (rugosité, oxydation, métallisation) sur la qualité de l'attache finale. Sur substrat or, il est possible de moduler l'épaisseur du joint en augmentant le nombre de dépôts de pâte. Cette particularité peut être importante pour la réalisation d'attaches de différents composants sur un même substrat : on pourra compenser les différences de hauteur en augmentant le nombre de dépôts.

Cette première partie de l'étude a montré que la faible rugosité du substrat est essentielle pour obtenir un joint et reproductible : on peut polir les substrats cuivre commerciaux. La finition or permet quand à elle de réaliser des joints ayant une excellente résistance au cisaillement.

La seconde partie de ce travail avait pour objectif d'évaluer le frittage simultané de deux puces sur un même substrat. L'application d'une pression uniforme sur l'ensemble des puces nécessite l'utilisation d'une couche d'interface entre la puce et la plaque supérieure de la presse chauffante. Le Viton est un polymère particulièrement bien adapté pour cette fonction car il résiste à des températures élevées et se déforme sous la pression permettant d'éviter l'endommagement des puces.

La dernière partie de l'étude porte sur la réalisation de joints pour de grandes puces (12,7 x 12,7 mm²) en silicium (les composants de cette taille n'étant pas disponibles en SiC). Des essais de frittage ont été menés sans interface, avec du silicone, du Viton et du PTFE (Téflon) : comme pour l'assemblage de deux puces, c'est le Viton qui est le plus adapté car il empêche la dégradation des puces lors du frittage de la pâte d'argent.

Les résultats des essais réalisés dans différentes conditions ont mis en évidence l'importance capitale de l'état de surface du substrat et de l'utilité d'une couche d'interface lorsque la surface totale de composants est importante.

Références

- [1] G. BAI, Low temperature sintering of nanoscale silver paste for semiconductor device interconnection, Thèse de doctorat, Virginia Polytechnic Institute, 2005.
- [2] S.R. CAIN, J.R. WILCOX and R. VENKATRAMAN, A diffusional model for Transient Liquid Phase Bonding, *Acta Materials*, Vol 45, N°1, pp 701-707, 1997.
- [3] D. BERNACHE ASSOLLANT et J.P. BONNET, Frittages, aspects physico-chimiques, *Techniques de l'ingénieur*, Tome 6620, 2005.
- [4] D. BERNACHE-ASSOLLANT, *Chimie-Physique du frittage*, Ed Hermés, 1993.
- [5] D. BERNACHE-ASSOLLANT, *Aspects physico-chimiques*, Ed Hermés, 2003.
- [6] M. RITTNER, M. FIX, A NOWOTTNICK, M. FRUH et C. GUNTHER, Characterisation of silver particles used for the Low Temperature Joining Techniques, ESTC Berlin, 2010.
- [7] W. SCHMITT, New silver contact pastes from high pressure sintering to low pressure sintering, ESTC Berlin, 2010.
- [8] J.G. BAI, Z.Z. ZHANG, J.N. CATALA et G-Q. LU, Low temperature sintered nanoscale silver as a novel semiconductor device-metallized substrate interconnect material, *IEEE Transactions on components and packaging technologies*, 2005.
- [9] J.G. BAI, J.N. CATALA, G-Q. LU, Processing and characterization of nanosilver pastes for die-attaching SiC devices, *IEEE Transactions on electronics packaging manufacturing*, Vol 30, N°4, pp 241-245, 2007
- [10] J.N. CATALA, T.G. LEI, G-Q. LU, Sintered nanosilver paste for high-temperature power semiconductor device attachment, *Int. J. Materials and product technology*, Vol 34, N° 1&2, pp 95-110, 2009.
- [11] A. MASSON, C. BUTTAY, H. MOREL, C. RAYNAUD, S. HACOET et L. GREMILLARD, High temperature die-attaches for SiC power devices, EPE Birmingham, 2011.