

## Caractérisation expérimentale du comportement mécanique d'assemblage haute température pour l'électronique de puissance

### Experimental characterization of the mechanical behavior of high-temperature assembly for power electronics

Ahlem Baazaoui, Joel Alexis, Olivier Dalverny et Moussa Karama

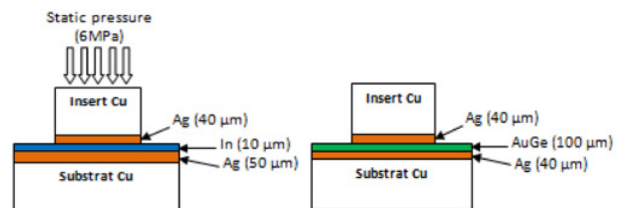
Université de Toulouse, INPIENIT, LGP, 47 avenue d'Azereix, 65016 Tarbes, France

**Abstract.** The mechanical behavior of two types of high-temperature connection implemented in the assembly of electronic power components was studied: a joint made by brazing transient liquid phase (TLPB) Ag-In and in another by brazing Au88Ge12. Connections made are mechanically characterized using shear tests. The microstructure of the junction section and the fracture surfaces of both connections was also observed.

**Résumé.** Le comportement mécanique de deux types de connexion haute température mises en œuvre pour l'assemblage de composants d'électronique de puissance a été étudié : une jonction réalisée par brasage en phase liquide transitoire (TLPB) d'Ag-In et une autre par brasage d'un eutectique Au88Ge12. Les connexions réalisées à partir d'inserts de cuivre sont caractérisées mécaniquement au moyen d'essais de cisaillement. Une analyse de la microstructure des jonctions en coupe et des faciès de rupture des deux connexions a également été menée.

#### INTRODUCTION

L'accroissement des besoins en énergie électrique pour les systèmes embarqués et leur augmentation de puissance, nécessitent de concevoir des systèmes d'électronique de puissance (convertisseur, onduleurs, ...) toujours plus performants (J. Yin et al., 2007, M.J. Jeng et al., 2012). Une solution d'avenir, actuellement à l'étude, concerne la mise en œuvre de composants à base de diamant qui permettent l'augmentation conséquente des tensions et des courants mis en jeu, mais nécessite une remise en cause des brasures existantes du fait d'une augmentation de la température maximale de jonction admissible (S. Msolli et al., 2012). La conséquence majeure de ce choix concerne la nécessité de travailler sur une large plage de température allant de  $-50^{\circ}\text{C}$  à  $300^{\circ}\text{C}$ . La température de fonctionnement visée rend donc caduque bon nombre de matériaux d'assemblage actuellement utilisés dans l'électronique de puissance à plus basse température. Pour ces applications, le principal challenge est de trouver des matériaux associés à des procédés permettant l'élaboration de connexions fonctionnant à haute température. Pour limiter le niveau de contrainte généré par la phase d'élaboration des jonctions, il est évident que des techniques d'assemblage à basse température doivent être privilégiées. Nous proposons d'étudier et de caractériser deux types de connexions réalisées à basse température : le brasage en phase liquide transitoire (TLPB) d'Ag-In et le brasage d'un eutectique Au88Ge12 sur une finition Ag. Pour l'assemblage Ag-In, le traitement thermique de diffusion s'opère à  $400^{\circ}\text{C}$ , tandis que pour la brasure AuGe la température de mise en œuvre est de  $420^{\circ}\text{C}$ . Alors que la température de fusion de l'AgGe est de  $356^{\circ}\text{C}$  seulement, celle de la jonction TLPB d'Ag-In est de  $850^{\circ}\text{C}$ , ce qui permet d'entrevoir un bien



**Figure 1.** Multilayer structure of the two assemblies tests, (a) TLPB Ag-In, (b) AuGe.

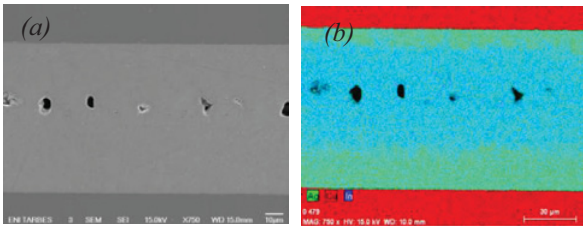
meilleur comportement thermomécanique à la température maximale de service (S. Msolli et al., 2012).

#### PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

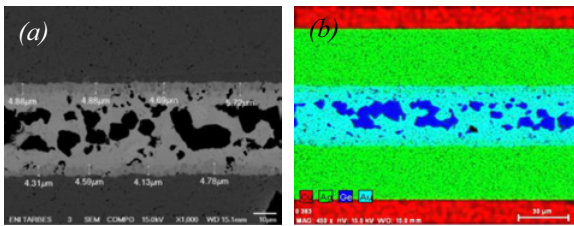
La structure multicouche des deux véhicules test est décrite dans la Figure 1. Dans les deux cas, des inserts en cuivre revêtus de dimensions  $3 \times 3 \times 2$  mm sont assemblés sur des substrats en cuivre revêtus. Pour l'assemblage Ag-In, les inserts sont revêtus d'une couche d'Ag d'épaisseur  $40 \mu\text{m}$  tandis que les substrats sont revêtus successivement d'une couche d'Ag d'épaisseur  $50 \mu\text{m}$  et d'une couche d'In d'épaisseur  $10 \mu\text{m}$ . Pour le brasage de l'eutectique Au88Ge12 livré sous forme de préforme de dimensions  $3 \times 3 \times 0,1$  mm, les inserts et les substrats sont revêtus d'une couche d'Ag d'épaisseur  $40 \mu\text{m}$ . Dans tous les cas les couches sont déposées par voie électrolytique.

#### RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Des observations microstructurales et des analyses physicochimiques des liaisons formées par TLPB Ag-In ou AuGe ont été faites sur des coupes (Figs. 2 et 3).



**Figure 2.** Analysis of the TLPB Ag-In joint section (a) SEM micrograph, (b) EDX mapping.



**Figure 3.** Analysis of the brazed joint AuGe in section (a) SEM micrograph, (b) EDX mapping.

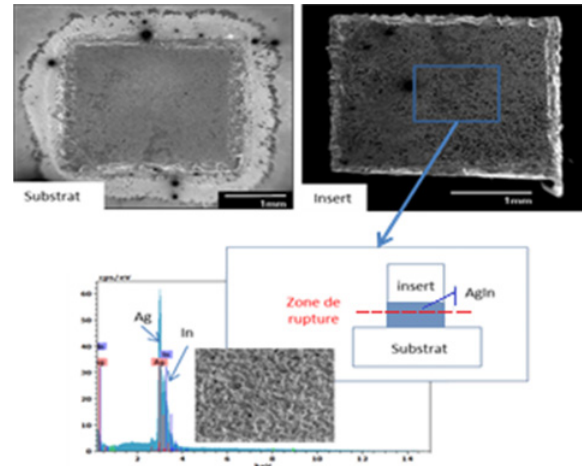
**Tableau I.** Mechanical strength of the two junctions TLPB Ag-In and AuGe.

| Jonctions    | Ag-In      | AuGe       |
|--------------|------------|------------|
| $\tau$ (MPa) | $57 \pm 6$ | $74 \pm 7$ |

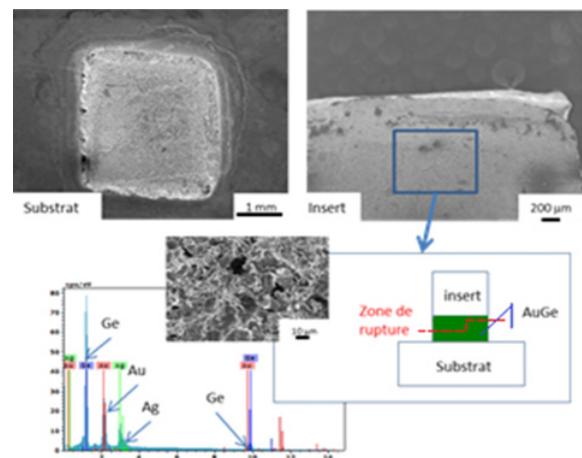
Pour la jonction Ag-In (Fig. 2), ces analyses ont permis de montrer la présence de porosités dans le joint. La cartographie EDX réalisée atteste que l'indium a diffusé dans le revêtement d'argent. Ceci est en accord avec les résultats de Chin C. Lee et al., concernant ce type de jonction (C.C. Lee et al., 2008). Pour la liaison formée par AuGe, le joint ne présente pas de défaut (Fig. 3). Les observations micrographiques et les analyses EDX illustrent qu'il y a diffusion d'environ  $5 \mu\text{m}$  d'argent dans la brasure AuGe. Une phase riche en or est observée aux interfaces substrat/brasure et insert/brasure, par contre, au centre de la liaison une structure eutectique est observée avec la présence de deux phases : une phase riche en or et une phase riche en germanium.

Pour déterminer la tenue mécanique des jonctions, des essais de cisaillement simple à température ambiante sont effectués sur 6 éprouvettes pour chaque assemblage. La contrainte de cisaillement à la rupture des deux jonctions est présentée dans le Tableau I. La jonction brasée AuGe montre donc à température ambiante, une meilleure résistance à la rupture que la jonction TLPB Ag-In. Afin de compléter ces essais mécaniques, une étude fractographique des éprouvettes rompues a été menée. Les résultats sont présentés aux Figures 4 et 5.

Les observations micrographiques et les analyses EDX des faciès de rupture des deux éprouvettes TLPB Ag-In et AuGe montrent une rupture essentiellement cohésive dans le joint et proche de l'insert en cuivre. En effet, les analyses EDX réalisées sur les faciès de rupture mettent en évidence la présence exclusive d'argent et d'indium pour l'éprouvette TLPB Ag-In après rupture (Fig. 4) et majoritairement la présence d'or et de germanium pour l'éprouvette AuGe après rupture (Fig. 5). Toutefois, des



**Figure 4.** SEM micrographs and EDX analysis of the fracture surfaces of the TLPB Ag-In sample.



**Figure 5.** SEM micrographs and EDX analysis of the fracture surfaces of the AuGe sample.

zones riches en argent sont présentes également sur les faciès de rupture de cette dernière jonction. La rupture de la jonction AuGe est donc mixte : cohésive dans la brasure et adhésive à l'interface AuGe/dépôt d'argent. Aucune trace de cuivre n'est présente sur les faciès des deux types de jonctions.

## CONCLUSION

Deux nouvelles jonctions ont été réalisées en vue d'assembler des composants d'électronique de puissance soit par procédé de brasage classique d'AuGe soit par procédé TLPB d'Ag-In. Les jonctions AuGe semblent avoir une tenue mécanique plus importante que celle des jonctions Ag-In à température ambiante. Cette différence peut s'expliquer notamment par l'absence de défauts dans la brasure AuGe contrairement aux jonctions Ag-In qui présentent des porosités.

## Références

- J. Yin et al., High temperature embedded SiC chip module (ECM) for power electronics applications, IEEE, Transactions on Power Electronics, 2007, 22: 392–398.

M.J. Jeng et al., Heat sink performances of GaN/InGaN flip-chip light-emitting diodes fabricated on silicon and AlN submounts, *Microelectronics Reliability*, 2012, 52: 884–888.

S. Msolli et al., Viscoplastic behavior of diamond die attach subjected to high temperature

conditions, *IEEE, Proceeding EuroSimE, Portugal*, 2012.

C.C. Lee et al., A New Bonding Technology Dealing with Large CTE Mismatch Between Large Si Chips and Cu Substrates, *IEEE, Electronic Components and Technology Conference*, 2008, 1562–1568.