

Etude d'interconnexions intermétalliques à partir de plot de Cu ou Ni et d'alliage Sn-Ag pour l'empilement tridimensionnel (3D) de composants actifs

F. Hodaj, J. Bertheau, D. Taneja
Collaboration ST. Microelectronics, CEA Leti Grenoble

Cette étude se place dans le contexte de la stratégie d'intégration 3D de composant actif utilisée en microélectronique. Afin de répondre à la demande croissante de la réduction d'échelle des dispositifs électroniques, les dimensions des interconnexions 3D, réalisées par assemblage par brasage, subissent des réductions drastiques en utilisant des microbumps d'alliages SnAgCu base Sn (SAC) de diamètre allant jusqu'à 25 μm (Fig. 1). Cette technique met en œuvre des interconnexions verticales entre composants, constituées de plots de cuivre assemblés par un alliage eutectique base étain (Sn-Ag-Cu). L'un des plots de Cu (ou de Ni) est surmonté d'un joint d'alliage SnAg ou SnAgCu, tandis que l'autre est constitué de Cu ou de Ni. Les composants sont ensuite reportés afin que ces plots soient mis en vis-à-vis (voir Figure 1). Le diamètre des plots varie de 80 à 25 μm . Actuellement on étudie des systèmes avec des diamètres de plots inférieurs à 10 μm .

Cette technique nécessite une ou plusieurs étapes de refusion (reflow) au cours desquelles des intermétalliques-IMC se développent à l'interface Cu (ou Ni)/alliage et il est impératif de contrôler à la fois leur morphologie et épaisseur ainsi que la microstructure de solidification du micro-joint.

L'objectif des travaux de ce thème est d'étudier: (i) le rôle des interactions alliage liquide/substrat sur le mouillage et la réactivité, (ii) l'effet des IMC sur le degré de surfusion de l'alliage liquide, (iii) la germination et son rôle sur la microstructure du joint, (iv) l'influence des dimensions des plots sur la physico-chimie et le comportement mécanique du système.

Lors d'une fusion de l'alliage, le liquide interagit avec le substrat (mouillage et réactivité interfaciale), puis se solidifie lors du refroidissement, formant ainsi un joint adhésif. Cette adhésion entre le substrat (Cu ou Ni) et l'alliage de brasure est essentiellement assurée par la formation de composés intermétalliques à l'interface dont la croissance est thermiquement activée. Cette croissance de phases d'interfaces s'accompagne également de la formation de cavités micrométriques résultant vraisemblablement d'un effet Kirkendall, potentiellement défavorable tant d'un point de vue électrique que mécanique.

Les produits de réaction sont finement caractérisés d'un point de vue morphologique et compositionnel par différents moyens (microscopie électronique, en transmission, à balayage; spectroscopie dispersive en énergie; tomographie X par projection), et ce, au cours de différents avancements réactionnels correspondant aux différentes étapes d'intégration technologiques (Figure 2). De la même manière, la microstructure du joint d'alliage est investiguée au cours des différentes étapes (Figure 3).

Des paramètres comme le degré de surfusion en fonction de la vitesse de refroidissement ou de la composition de l'alliage de brasure sont étudiés par calorimétrie différentielle à balayage - DSC.

Pour de tels systèmes réactifs (grand rapport surface réactive/volume du joint), nous avons montré que de faibles changements de dimension ou de composition peuvent conduire à de drastiques variations d'épaisseur et de morphologie du produit interfacial mais aussi de la surfusion qui, à son tour, conduit à une modification de la microstructure du joint de brasure et de ses propriétés mécaniques.

Un volet de l'étude est consacré à la fiabilité mécanique de ces systèmes d'interconnexions. Leur résistance mécanique est mesurée à la suite de vieillissements thermiques menant à des avancements réactionnels potentiellement critiques. Le système est étudié jusqu'à l'étape de report de composant (état d'interconnexion) et fait l'objet de caractérisations électriques et morphologiques. Des empilements technologiques de différentes nature (comportant du nickel ou non) sont étudiés comparativement.

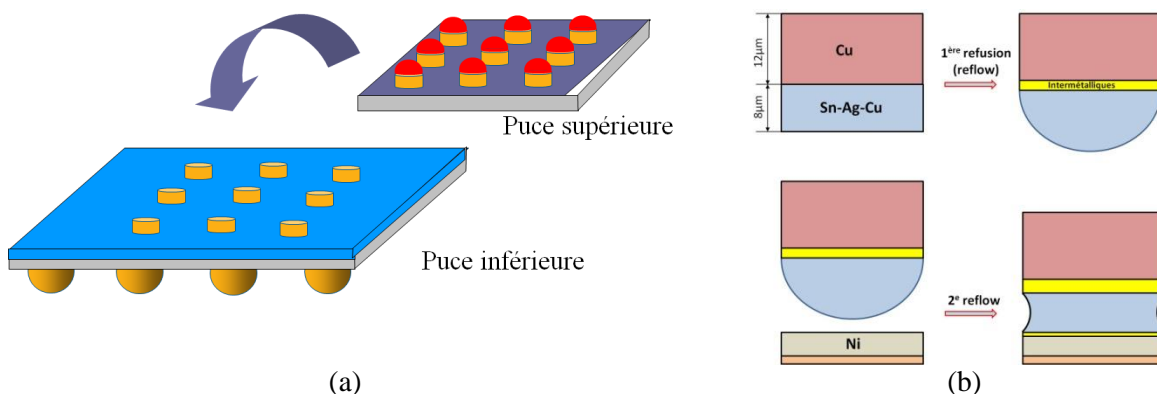


Figure 1: (a) Schéma du principe de report de puce par la technologie flip-chip. (b) Représentation schématique de l'empilement métallurgique que constitue l'interconnexion avec les épaisseurs visées (diamètre des micro-bumps égal à 25 μm).

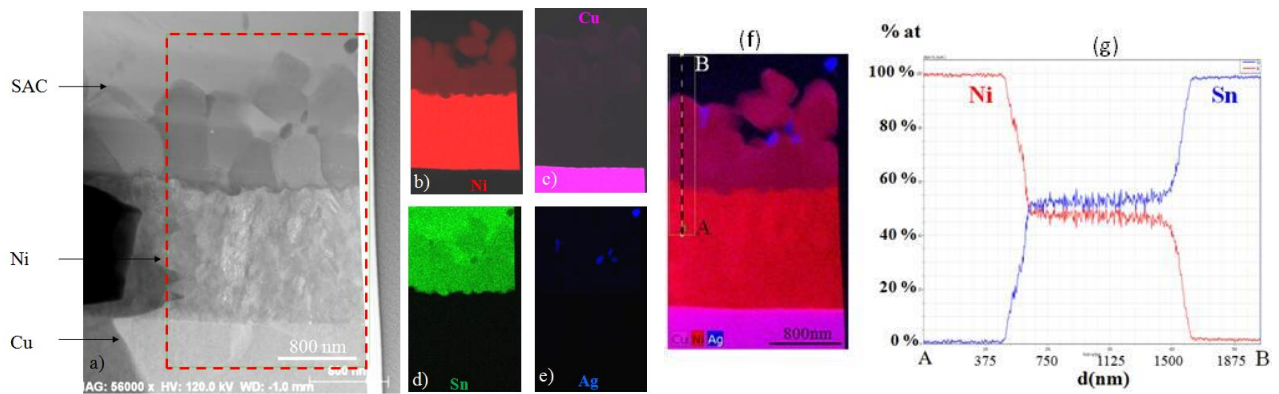


Figure 2: Analyse en microscopie électronique en transmission de l'interface Ni/alliage Sn-Ag-Cu (SAC) à l'issue d'un reflow (a). Balayage en spectroscopie X dispersive en énergie (EDX) révélant des aires riches en nickel (b), cuivre (c) étain (d) et argent (e). Balayage linéaire en spectroscopie X dispersive en énergie (EDX) (f) et quantification, en pourcentage atomique du nickel et de l'étain au cours du balayage (g).

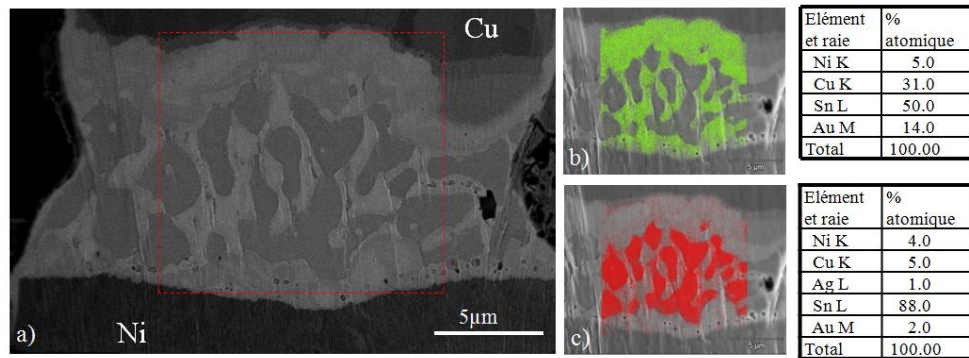


Figure 3: Analyse sur une coupe transversale d'interconnexion après 2 reflows succédant au brasage eutectique. Cliché MEB en mode de détection rétrodiffusé (a), analyse spectroscopique (EDX) révélant deux composés (b, c).

Publications significatives:

- J. Bertheau, P. Bleuet, F. Hodaj, P. Cloetens, N. Martin, J. Charbonnier, N. Hotellier. Reflow processes in micro-bumps studied by synchrotron X-ray projection nanotomography. **Microelec. Eng.**, vol. 113, p. 123-129, **2014**
- J. Bertheau, F. Hodaj; N. Hotellier, J. Charbonnier. Effect of intermetallic compounds thickness on shear strength of 25µm diameter copper-pillars. **Intermetallics**, vol. 51, p. 37-47, **2014**
- F. Hodaj. Interfacial reactions between lead free solder alloys and metallic substrates: thermodynamics and kinetics. Proceedings of 5th International Brazing and Soldering Conference IBSC 2012, Las Vegas (Etats-Unis), 22-25 April 2012, p. 213-216, **2012**
- J. Bertheau, P. Bleuet, R. Pantel, J. Charbonnier, F. Hodaj, P. Coudrain, N. Hotellier. Microstructural and morphological characterization of SnAgCu micro-bumps for integration in 3D interconnects. Proceedings of Electronic Components and Technology Conference ECTC, IEEE 63rd, Las-Vegas (Etats-Unis), 28-31 May 2013, p. 1127-1132, **2013**
- P. Bleuet, G. Audoit, J. Bertheau, J. Charbonnier, P. Cloetens, M.L. Djomeni Weleguela, D. Ferreira Sanchez, F. Hodaj, P. Gergaud, F. Lorut, J-S. Micha, A. Thuair, O. Ulrich. Synchrotron radiation-based characterization of interconnections in microelectronics: recent 3D results. Proceedings of SPIE, vol. 9212, article number: 92120D, **2014**
- D. Taneja, M. Volpert, G. Lasfargues, T. Catelain, D. Henry, F. Hodaj. Understanding The Behavior of SnAg Bumps at 10 µm Pitch and Below for Imaging and Microdisplay Application. Proceedings of Electronic Components and Technology Conference ECTC, IEEE 66th, Las-Vegas (Etats-Unis), 31 May - 03 Juin 2016, p. 362-367, **2016**