

Nouveau packaging 3D collectif de composants de puissance verticaux

B. Letowski^{1,2,3,4}, J. Widiez^{1,2}, N. Rouger^{3,4}, M. Rabarot^{1,2}, W. Vandendaele^{1,2}, B. Imbert^{1,2} et JC. Crébier^{3,4}

¹ Univ. Grenoble Alpes, F-38000 Grenoble, France

² CEA, LETI, MINATEC Campus, F-38054 Grenoble, France

³ Univ. Grenoble Alpes, G2Elab, F-38000 Grenoble, France

⁴ CNRS, G2Elab, F-38000 Grenoble, France

Email: bastien.letowski@cea.fr

RESUME – L'état d'avancement d'une approche d'assemblage collectif de modules électroniques de puissance en 3D, basée sur des étapes technologiques de fabrication à l'échelle de la plaque (200 mm de diamètre dans notre cas) est présentée dans ce papier. Le concept repose sur l'intégration des étapes de packaging dans la fabrication front-end des composants. C'est une démarche globale de conception couplée intégrant le design, la fabrication et le packaging. Les étapes spécifiques de fabrication de composants fonctionnels ainsi que la réalisation d'un leadframe métallique sont décrites ici, comme des éléments clés de l'approche de packaging collectif de modules de puissance.

Mots-clés : *packaging 3D – collage métallique - module de puissance - leadframe métallique - assemblage collectif de composants verticaux de puissance - convertisseur entrelacé.*

1. CONTEXTE ET APPROCHE

Au cours de ces dernières années, de nombreuses recherches se sont concentrées sur le développement de composants de puissance avec une vitesse de commutation élevée, par exemple les MOSFET à Super Jonction, JFET SiC et HEMT GaN. Pour être utilisés à leur optimum et améliorer les performances des convertisseurs, ce type de composants nécessite un packaging et des interconnexions optimisés [1]. Le packaging 3D collectif, par empilement de composants de puissance à structure verticale à l'échelle de la plaque, repose sur des étapes technologiques avancées d'assemblage : deux plaques (une comportant des transistors et une comportant des diodes) sont reportées sur une plaque de cuivre massive préalablement ajourée, formant un « leadframe » pour l'interconnexion. Ce sandwich est ensuite découpé, rendant accessibles les électrodes du module par la tranche. Le module est finalement reporté et brasé sur un circuit électronique classique, voir Figure 1. Cette approche permet de supprimer les fils de bonding.

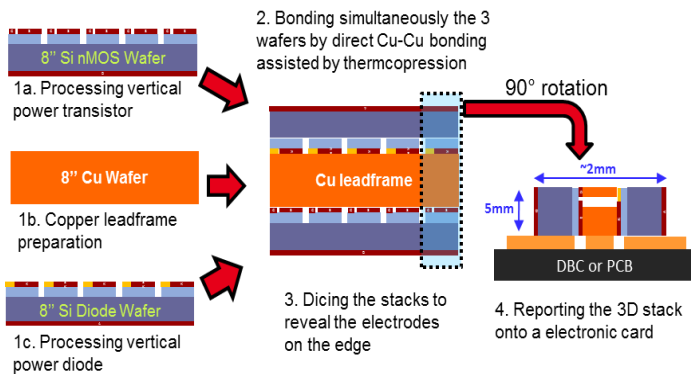


Figure 1 Procédé de fabrication de notre module 3D de puissance.

Cette approche est mise en œuvre dans un hacheur Buck entrelacé afin de démontrer l'intérêt des étapes d'assemblage collectif ainsi que le compromis optimal entre les perturbations électromagnétiques (CEM) et les performances thermiques par rapport à l'état de l'art [2-3], voir Figure 2.

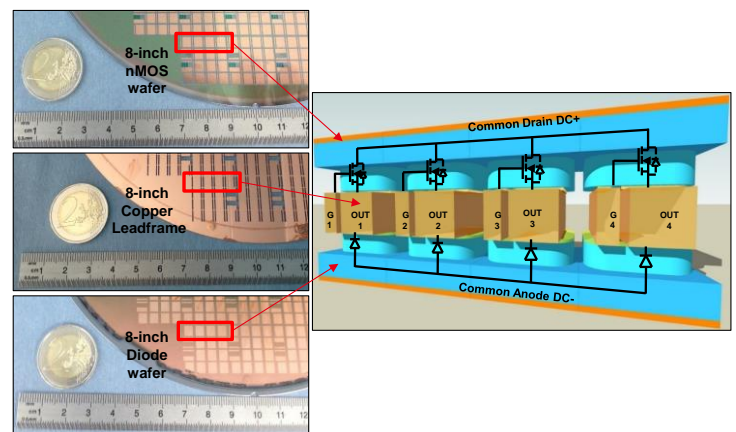


Figure 2: A Gauche: Photos des plaques de transistors, de diodes et le leadframe cuivre en 200mm, 4 composants sont encadrés; A Droite: Dessin 3D d'un hacheur Buck entrelacé à 4 phases, la cellule de commutation est assemblée en 3D.

Notre approche d'assemblage collectif à l'échelle de la plaque est dans la continuité de nos travaux précédents sur le report de composants sur embase métallique [4]. L'objectif est de résoudre en une fois les problématiques du packaging 3D, comme la robustesse/fiabilité, les performances et le coût. Elle dépend de développements technologiques importants et parmi eux, l'assemblage et l'interconnexion à l'échelle du wafer est un challenge essentiel mais nécessaire pour l'obtention d'un packaging de puissance optimal avec une inductance de maille inférieure au nH.

Nos avancées sur la mise en œuvre d'un packaging à l'échelle de la plaque sont décrites ici tout en introduisant le concept d'un assemblage symétrique entre des plaques de composants et un leadframe métallique.

2. PROCÉDÉ DE FABRICATION ET RÉSULTATS

Afin que les composants de puissance soient compatibles avec un assemblage collectif à l'échelle de la plaque et un packaging 3D, ils ont été dessinés avec une architecture et un layout spécifique. La terminaison en tension (MESA) est réalisée par gravure profonde du silicium (DRIE). Les

composants sont ainsi ilotés et peuvent être mis en oeuvre dans un concept de vecteur de composants [5]. Dans cette même approche, le cuivre est utilisé pour les métallisations (remplaçant l'aluminium standard) et pour le collage métallique Cu-Cu. Les caractérisations électriques ont permis de valider ces spécifications obligatoires pour le packaging 3D. La Figure 3 montre les caractérisations en inverse, celles en direct ne sont pas présentées ici pour une question de synthèse dans l'abstract.

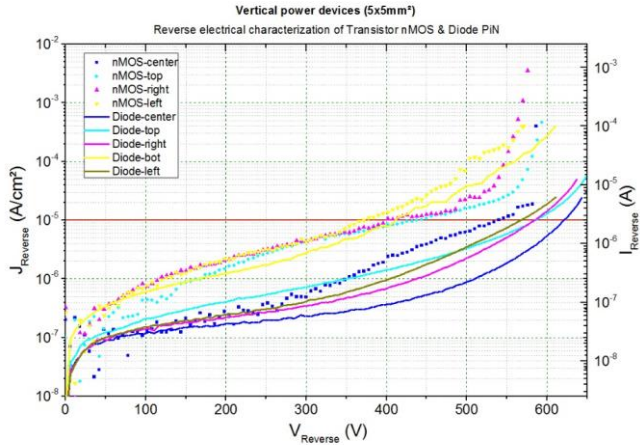


Figure 3: Caractérisations électriques en inverse des transistors de puissance pour différentes positions sur la plaque 200mm; $R_{ON,S} = 0.1 \Omega \cdot \text{cm}^2$ pour une tension de claquage de 600V ; la métallisation cuivre et la terminaison en tension de type MESA sont validées

Une étape spécifique de polissage mécano-chimique (CMP) a été développée afin de réduire la rugosité initiale des plaques de cuivre, autour de 250 nm (valeur RMS) à moins de 33 nm nécessaire pour le collage métallique assisté par thermocompression (TC) [6]. La plaque de cuivre est polie pour garantir la meilleure uniformité de son état de surface. Ensuite, elle est protégée par un film sec et ajourée par jet d'eau haute pression, voir Figure 4. Cela permet de réaliser les contours du leadframe, qui servira par la suite à l'interconnexion des différentes électrodes du module de puissance.

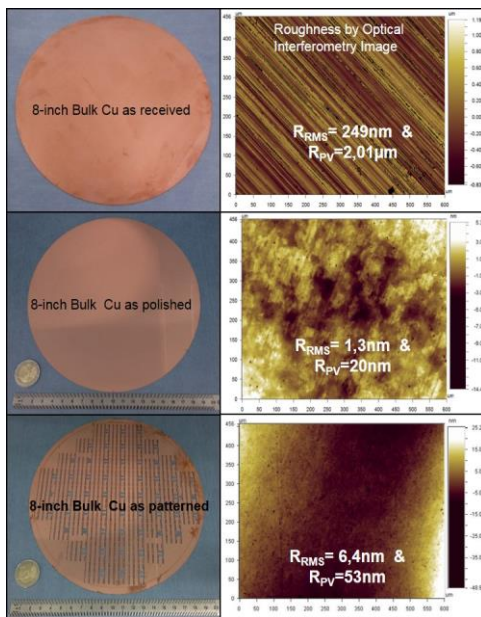


Figure 4: A gauche : Plaques 200mm de cuivre ; A droite : photos en interférométrie optique : état initial (en haut), poli double face (milieu) et après découpe par jet d'eau HP (en bas). La rugosité reste compatible avec le collage Cu-Cu par TC.

Un procédé de double collage métallique a été développé pour réaliser l'assemblage puis tester son comportement mécanique. L'étude a été validée sur un assemblage 3D pleine plaque silicium-cuivre-silicium. L'une des clés de la réussite est de garder notre hétérostructure symétrique durant toutes les étapes de fabrication pour compenser la déformation due aux différences de coefficient de dilatation : les trois plaques sont donc assemblées en même temps. Les collages sont caractérisés par microscopie acoustique (SAM) et visibles sur la Figure 5.

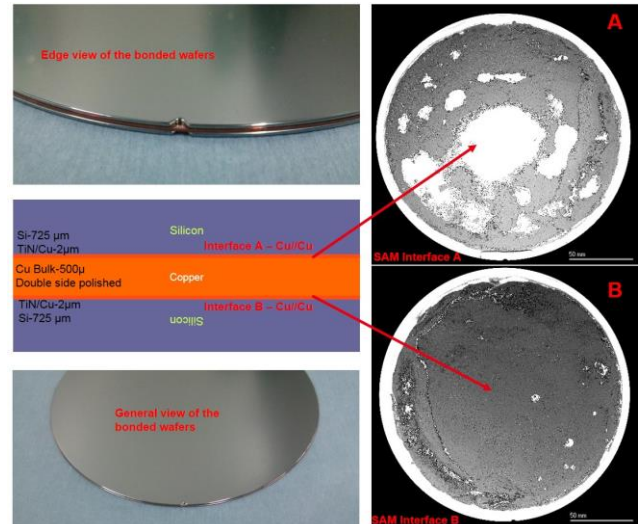


Figure 5: A gauche: Vue en coupe et photos de l'hétérostructure Si/Cu/Si en 200mm; A droite: Photos en microscopie acoustique de l'interface de collage Cu-Cu; des défauts de collage sont représentés en blanc, les zoners sans défaut en noir.

3. CONCLUSION

Des composants de puissance spécifiques compatibles avec un packaging 3D, la réalisation d'un leadframe pour les interconnexions et un double collage métallique ont été développés avec succès. Ces procédés de fabrication collective à l'échelle de la plaque sont une étape technologique primordiale pour la réalisation d'un packaging 3D innovant de composants de puissance.

4. REFERENCES

- [1] A. Müsing and J. W. Kolar, "Ultra-Low-Inductance Power Module for Fast Switching Semiconductors," in PCIM Europe Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, 2013.
- [2] A. K. Solomon, A. Castellazzi, N. Delmonte, and P. Cova, "Highly integrated low-inductive power switches using double-etched substrates with through-hole viases," in *Power Semiconductor Devices & IC's (ISPSD), 2015 IEEE 27th International Symposium on*, 2015, pp. 329–332.
- [3] E. Vagnon, P.-O. Jeannin, J.-C. Crebier, and Y. Avenas, "A Bus-Bar-Like Power Module Based on Three-Dimensional Power-Chip-on-Chip Hybrid Integration," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 46, no. 5, pp. 2046–2055, Sep. 2010.
- [4] N. Rouger, J. Widiez, L. Benaissa, B. Imbert, P. Gondcharton, B. Letowski, and J.-C. Crebier, "3D Packaging for vertical power devices," in *Integrated Power Systems (CIPS), 2014 8th International Conference on*, 2014, pp. 1–6.
- [5] K. Vladimirova, J.-C. Crebier, Y. Avenas, and C. Schaeffer, "Single Die Multiple 600 V Power Diodes With Deep Trench Terminations and Isolation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 11, pp. 3423–3429, Nov. 2011.
- [6] P. Gondcharton, F. Baudin, L. Benaissa, and B. Imbert, "Mechanisms overview of Thermocompression Process for Copper Metal Bonding," in *MRS Proceedings*, 2013, vol. 1559, pp. mrrs13–1559.