

# Intégration par Micro-Transfer-Printing de source ICL sur plateforme photonique Si/SiGe

Yannis Billiet<sup>1,2</sup>, Céline Chevalier<sup>1</sup>, Xavier Letartre<sup>1</sup>, Jean-Louis Leclercq<sup>1</sup>, Pierre Cremillieu<sup>1</sup>, Radoslaw Mazurczyk<sup>1</sup>, Christian Grillet<sup>1</sup>, Eric Tournié<sup>2</sup>, Maxime Lepage<sup>3</sup>, Badhise Ben Bakir<sup>3</sup>, Vincent Reboud<sup>3</sup>, Nicolas Bresson<sup>3</sup>, Jean-Michel Hartmann<sup>3</sup>, Laurent Cerutti<sup>2</sup>, Christian Seassal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INL, Ecole Centrale de Lyon, INSA Lyon, CNRS, 69130 Ecully, France, <sup>2</sup> IES, Université de Montpellier, CNRS, 34000 Montpellier, France

<sup>3</sup>CEA-LETI, Minatec, 38054 Grenoble, France

\*yannis.billiet@ec-lyon.fr

## RESUME

Nous présentons les premières avancées technologiques concernant l'intégration d'une source ICL émettant à 4 μm sur une plateforme SiGe par la méthode du micro transfert printing.

## 1. INTEGRATION PAR MICRO-TRANFER PRINTING DE LA SOURCE ICL

Parmi les différentes approches permettant d'intégrer des sources laser semiconductrices à des dispositifs photoniques de la filière SiGe/Si, l'intégration hétérogène d'hétérostructures actives par collage adhésif (via une couche de BCB) ou moléculaire (SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> en particulier) a atteint un stade de maturité [3]. Dans ce contexte, le report de coupons d'hétérostructures laser par micro-transfer printing (μTP) constitue une variante qui présente des avantages uniques, avec notamment le fait de pouvoir procéder à la réalisation des premières étapes de fabrication des lasers sur leur substrat de départ. L'enchaînement technologique développé pour la réalisation d'ICL sur SiGe/Si par μTP est présenté figure 1.

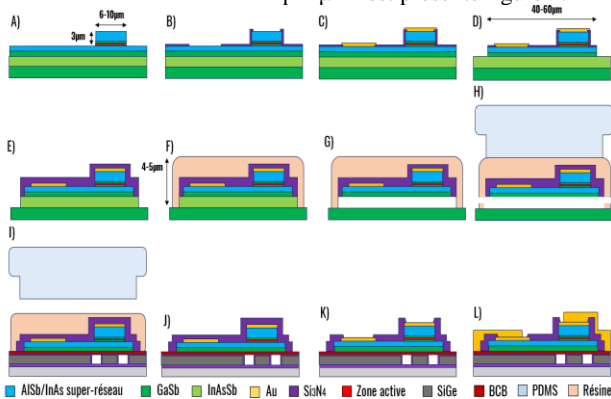


Figure 1 : Procédé d'intégration développé

Il s'agit dans un premier temps de préparer des coupons intégrant un guide d'onde de 6 à 10 μm de large, incluant la zone de gain optique, mais aussi les contacts d'injection électriques supérieur et inférieur (A-D). Les coupons sont protégés latéralement et séparés de leur substrat natif par sous-gravure chimique sélective (E-G). Ils sont ensuite collectés par un « tampon » (H) puis reportés sur le circuit photonique SiGe/Si, en assurant un alignement entre guide émissif et guide SiGe (I). Ces étapes sont réalisées en utilisant un système initialement dédié à la lithographie par nano-impression et permettant un alignement meilleur que 1 μm. Enfin, les contacts électriques sont reportés latéralement à l'aide de procédés classiques (J-L). La sous-gravure (étape G) et le report (H-I) constituent les étapes critiques de cet enchaînement, et font l'objet d'un développement spécifique.

Les différentes étapes de structuration des matériaux III-V sont réalisées avec des masques dur en SiO<sub>2</sub>. La gravure des couches de GaSb et AISb/InAs est effectuée par ICP-RIE à 200°C avec un mélange de gaz Cl<sub>2</sub>/Ar riche en argon, assurant une gravure anisotrope, essentielle pour le ridge laser (A-D). Enfin, la couche sacrificielle en InAsSb est gravée par RIE avec un mélange de gaz CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> (E).

L'étape de sous-gravure (G) a pu être validée par l'utilisation d'une paire de matériaux InAsSb (couche sacrificielle) / GaSb (couche d'arrêt).

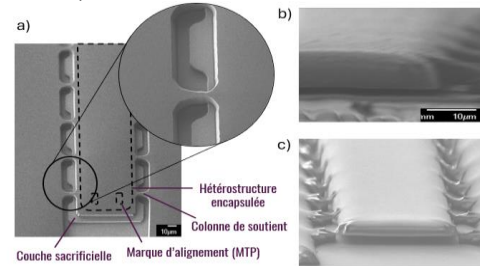


Figure 2 : Image MEB de profil de l'hétérostructure GaSb/InAsSb sous-gravée (b), image MEB du coupon préparé pour MTP dans le système modèle Si/SiO<sub>2</sub> (a,c).

La figure 2b présente un coupon d'hétérostructure ICL partiellement suspendu, obtenu après 3h de gravure par une solution à base d'acide citrique et de peroxyde d'hydrogène. La sélectivité s'avère suffisante pour libérer des membranes de quelques dizaines de micromètres de large. La sous-gravure, mais aussi le μTP nécessitent la réalisation de colonnes de maintien destinées à être brisées lors du retrait du coupon (étape H). Afin de concevoir les géométries de colonnes, mais aussi de valider les étapes de μTP, une étude préliminaire a été menée sur un empilement simplifié Si/SiO<sub>2</sub>, ce dernier milieu simulant la couche sacrificielle. Les figure 2a et 2c présentent un exemple de coupon, retenu latéralement par 6 colonnes de maintien, lors des étapes H et G.

Le moulage du tampon en PDMS nécessaire à la prise du coupon (étape H) est réalisé par injection en force afin d'assurer sa planéité. Ce dernier est structuré pour permettre une plus grande résilience selon l'axe z pendant les différentes étapes du transfert.

Le transfert s'effectue à température ambiante en utilisant une machine de nano-impression NPS300 de la marque SET. La vitesse du bras est contrôlée : elle doit être suffisamment rapide lors de la saisie du coupon pour briser les colonnes (H), et assez lente lors du dépôt pour minimiser l'adhésion entre le coupon et le tampon en PDMS (I).

Les premiers transferts de coupon en silicium ont pu être démontrés, sur une cible de silicium recouverte d'une couche de 150nm de résine à bonding Brewer HT10-11. La précision d'alignement lors du transfert est en cours de quantification.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence ANR-22-PEEL-0015 dans le cadre du projet ciblé OFCOC. Il a bénéficié des réseaux de plateformes technologiques Renatech et Renatech+.

## REFERENCES

- [1] Griffith, A. G. et al. "Silicon-chip mid-infrared frequency comb generation". Nat. Commun. 6:6299 (2015). DOI: 10.1038/ncomms7299
- [2] E.Tournié, L.Cerutti. "Mid-Infrared Optoelectronics: Materials, Devices, and Applications". Duxford Cambridge: Woodhead publishing (2020). DOI: 10.1016/B978-0-08-102709-7.00003-6
- [3] H. Duan et al., "Hybrid III-V on Silicon Lasers for Photonic Integrated Circuits on Silicon," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 20, no. 4, pp. 158-170 (2014). DOI: 10.1109/JSTQE.2013.2296752