

# CROISSANCE PAR MOVPE DE STRUCTURES ACTIVES A BASE D'ALGAInAS SUR GERME InP COLLE SUR SUBSTRAT SILICIUM OXYDE

**Claire Besancon<sup>\*1,3</sup>, Nicolas Vaissiere<sup>1</sup>, Jean-Pierre Le Goec<sup>1</sup>, Cécilia Dupré<sup>2</sup>, Viviane Muffato<sup>2</sup>, Frank Fournel<sup>2</sup>, Christophe Jany<sup>2</sup>, Franck Bassani<sup>3</sup>, Sylvain David<sup>3</sup>, Thierry Baron<sup>3</sup> et Jean Decobert<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> III-V Lab, *a joint lab of Nokia Bell Labs, Thales Research and Technology and CEA LETI*, 91120 Palaiseau, France

<sup>2</sup> Univ. Grenoble Alpes, *CEA LETI*, 38000 Grenoble, France

<sup>3</sup> Univ. Grenoble Alpes; CNRS, *CEA LETI Minatec*, LTM, F-38054 Grenoble Cedex, France

[claire.besancon@3-5lab.fr](mailto:claire.besancon@3-5lab.fr)

## RÉSUMÉ

La recroissance sur InP collé sur substrat silicium oxydé permet d'ouvrir la photonique sur silicium au savoir-faire mature de la plateforme III-V « classique ». Nous présentons la démonstration de recroissance de structures actives à base d'AlGaInAs de qualité comparable à une référence sur substrat InP. La structure est caractérisée en in-situ (mesure de réflectance) et en ex-situ (AFM, TEM, DRX, photoluminescence).

**MOTS-CLEFS :** *Epitaxie par MOVPE ; Photonique sur silicium ; Collage direct*

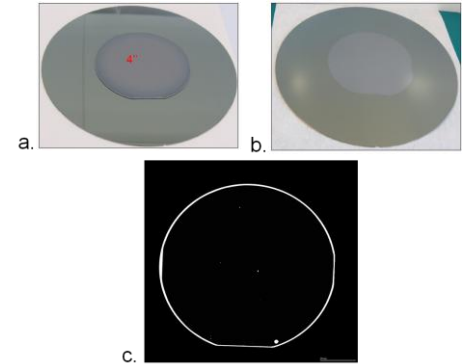
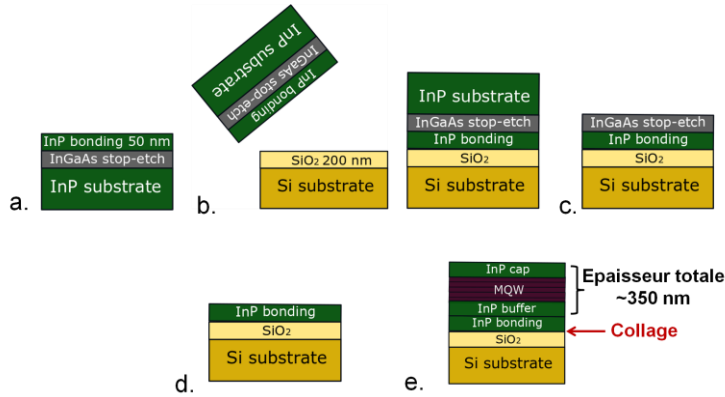
## 1. INTRODUCTION

Les circuits photoniques intégrés (PIC : Photonic Integrated Circuits) réalisant des fonctions d'émission ou de réception à haut débit sont devenus des éléments clés dans les réseaux de télécommunications optiques. La croissance exponentielle de la quantité de données transmises nécessite d'améliorer les capacités de transport tout en réduisant le coût nécessaire à la transmission de ces données dans les circuits photoniques intégrés. La croissance directe de matériaux III-V sur wafer 300mm de silicium est l'approche la plus prometteuse pour réduire les coûts. Cependant, les différences de paramètre de maille, de coefficients d'expansion thermique et de polarité entre III-V et Si rend difficile l'hétéroépitaxie de matériaux III-V de qualité. A l'inverse, l'hétéro-intégration par collage direct est l'approche la plus mature pour la réalisation de PICs dans la plateforme photonique sur silicium [1]. En particulier, la recroissance de matériaux III-V sur germe InP collé sur silicium oxydé (InPoSi) est une approche intéressante puisqu'elle ouvre une grande partie du savoir-faire de la plateforme III-V « classique » [2][3][4] à la plateforme silicium. Dans ce contexte, la démonstration de recroissance de qualité de structures actives à base de multipuits quantiques (MultiQuantum Wells : MQW) d'AlGaInAs sur germe InPoSi est présentée.

## 2. PROCEDE DE FABRICATION

La filière de fabrication pour la recroissance sur InP collé sur substrat silicium oxydé (InPoSi) est décrite dans la Fig.1. Tout d'abord, on épitaxie par MOVPE dans un réacteur CCS Aixtron 100nm d'InP de collage sur une couche d'arrêt d'InGaAs sur substrat InP de 4 pouces (Fig 1.a). La structure est ensuite collée par collage direct classique [5] avec un substrat de silicium préalablement oxydé thermiquement pour former une silice de l'ordre de 200nm d'épaisseur. Le procédé de collage est mature dans la filière 4 pouces comme l'atteste le rendement de collage de 99% présenté en Fig.2 b et c. Le substrat InP et la couche sacrificielle d'InGaAs sont ensuite sélectivement gravés par voie chimique (Fig 1.d). Enfin, on épitaxie une hétérostructures de 8 MQW à base d'AlGaInAs compensés en contrainte entre deux couches d'InP (Fig.1 e) sur InPoSi et sur un substrat InP comme référence. Les structures ont été caractérisées en in-situ (mesure de

réflectivité à 405 et 950nm) grâce à des outils EpiTT de Laytec et en ex-situ : AFM, coupes STEM et TEM, mesure de photoluminescence et mesure en diffraction aux rayons X.

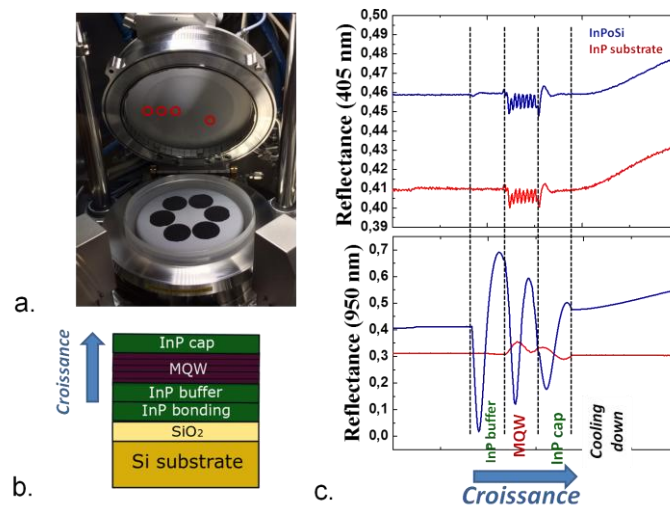


**Fig.1** Procédé de fabrication du germe InP-SiO<sub>2</sub>/Si a. Croissance d'une couche d'InGaAs et d'une couche d'InP de collage b. Collage direct avec un substrat Si oxydé c. Gravure humide du substrat InP d. Gravure humide de la couche d'InGaAs e. Recroissance sur germe collé par MOVPE

**Fig.2** Photographie du wafer III-V 4 pouces collé sur substrat silicium a. après collage b. après retrait du substrat InP c. Image acoustique du germe collé avec un rendement de collage de 99%

### 3. CARACTERISATIONS IN-SITU

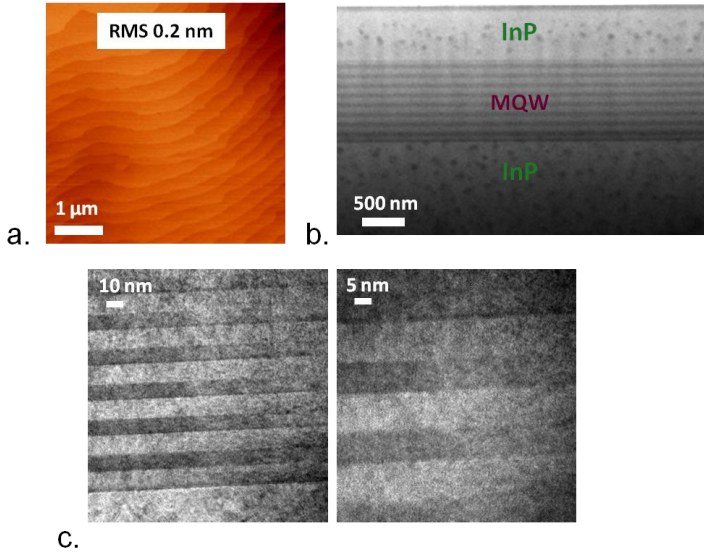
Le signal de réflectivité mesuré à 405nm, sensible à l'état de surface de la structure, indique une croissance avec un matériau d'excellente qualité (Fig.3 c). La forte amplitude d'oscillation pour le signal à 905nm lors de la croissance du buffer InP (courbe bleue) s'explique par le fort contraste d'indice dans la structure InP/SiO<sub>2</sub>/Si contrairement à la structure en croissance sur le substrat InP (courbe rouge).



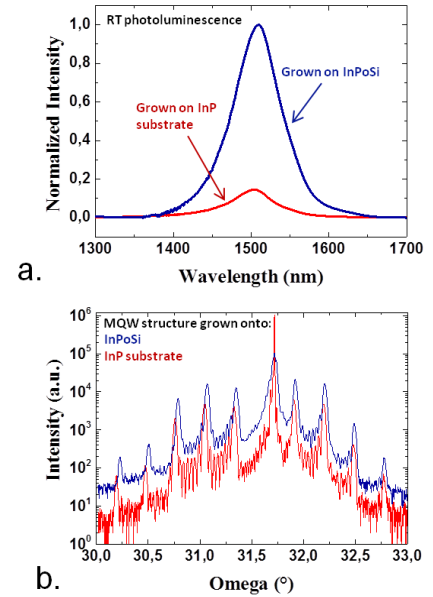
**Fig.3** a. Showerhead du réacteur Aixtron CCS avec quatre entrées (ronds rouges) pour les mesures de réflectivités b. Structure de recroissance sur germe collé c. Mesures de réflectivités sur InPoSi et référence pour 405 et 950nm.

#### 4. CARACTERISATIONS EX-SITU

La rugosité mesurée par AFM de 0.2nm est identique à celle mesurée pour la structure en recroissance sur substrat InP (Fig.4 a). Les clichés STEM/TEM (Fig 4.b et c) indiquent un matériau sans dislocation. Le signal de photoluminescence est 7 fois plus intense pour la structure sur germe collé que pour la référence InP avec une FWHM de 70nm, identique à celle de la référence (Fig.5 a). Cette plus forte intensité s'explique par l'augmentation de l'excitation et de la collection de photons en lien avec les réflexions aux interfaces InP/SiO<sub>2</sub>/Si comme évoqué dans [4]. Les profils de diffraction aux rayons X indiquent des pics satellites fins et intenses caractéristiques d'un matériau de qualité (Fig.5 b).



**Fig.4** a. Image AFM de la structure sur germe collé avec une RMS de 0.2nm b. Cliché STEM de la vue en tranche de la structure sur germe collé c. Clichés TEM des MQW



**Fig.5** a. Signaux de photoluminescence avec laser de pompe à 1064nm et détecteur en InGaAs b. Profils de diffraction aux rayons X

#### CONCLUSION

Nous avons fait la démonstration de recroissance de structures actives à base d'AlGaInAs de qualité sur germe collé sur silicium oxydé comparable à une référence sur substrat InP et à l'état de l'art [6]. Ce projet a été financé par le projet Européen H2020 PICTURE n°780930.

#### RÉFÉRENCES

- [1] G. H. Duan *et al.*, "Hybrid III-V on Silicon Lasers for Photonic Integrated Circuits on Silicon," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 2014.
- [2] C. Jany *et al.*, "Semi-Insulating Buried Heterostructure 1.55μm InGaAlAs Electro- absorption Modulated Laser with 60GHz Bandwidth," in *ECOC 2007*, 2007.
- [3] C. Kazmierski, "Electro-Absorption-Based Fast Photonic Integrated Circuit Sources for Next Network Capacity Scaling," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 4, no. 9, p. A8, Jul. 2012.
- [4] N. Dupuis *et al.*, "10-Gb/s AlGaInAs Colorless Remote Amplified Modulator by Selective Area Growth for Wavelength Agnostic Networks," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 20, no. 21, pp. 1808–1810, 2008.
- [5] C. Ventosa *et al.*, "Mechanism of Thermal Silicon Oxide Direct Wafer Bonding," *Electrochem. Solid-State Lett.*, vol. 12, no. 10, p. H373, 2009.
- [6] T. Fujii, K. Takeda, H. Nishi, and S. Matsuo, "High Performance Epitaxially Grown III-V Membrane Lasers on Si," in *ECOC 2017*, 2017.