



**HAL**  
open science

## Lasers à boîtes quantiques sur InP pour les applications télécom à 1,55 $\mu\text{m}$

Rozenn Piron, Olivier Dehaese, Frederic Grillot, Estelle Homeyer, Dayong Zhou, Madhoussoudhana Dontabactouny, Georges Elias, Ibrahim Alghoraibi, Karine Tavernier, Nicolas Chevalier, et al.

► **To cite this version:**

Rozenn Piron, Olivier Dehaese, Frederic Grillot, Estelle Homeyer, Dayong Zhou, et al.. Lasers à boîtes quantiques sur InP pour les applications télécom à 1,55  $\mu\text{m}$ . Séminaire PONANT 2010, Jul 2010, Rennes, France. hal-00662947

**HAL Id: hal-00662947**

**<https://hal.science/hal-00662947v1>**

Submitted on 21 May 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## LASERS A BOITES ET FILS QUANTIQUES SUR INP POUR LES APPLICATIONS TELECOM A 1,55 $\mu\text{M}$

**R. Piron**<sup>1,2</sup>, **O. Dehaese**<sup>1,2</sup>, **F. Grillot**<sup>1,2</sup>, **E. Homeyer**<sup>1,2</sup>, **D. Zhou**<sup>1,2</sup>, **M. Dontabactouny**<sup>1,2</sup>, **G. Elias**<sup>1,2</sup>, **I. Alghoraibi**<sup>1,2</sup>, **K. Tavernier**<sup>1,2</sup>, **N. Chevalier**<sup>1,2</sup>, **T. Batté**<sup>1,2</sup>, **J. Even**<sup>1,2</sup>, **H. Folliot**<sup>1,2</sup>, **C. Paranthoën**<sup>1,2</sup>, **N. Bertru**<sup>1,2</sup>, **A. Martinez**<sup>3</sup>, **K. Merghem**<sup>3</sup>, **A. Ramdane**<sup>3</sup>, **C. Rosenberg**<sup>4</sup>, **E. Semenova**<sup>4</sup>, **D. Larsson**<sup>4</sup>, **K. Yvind**<sup>4</sup>, **S. Loualiche**<sup>1,2</sup>, **A. Le Corre**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Université Européenne de Bretagne, Insa, 35000 Rennes

<sup>2</sup> CNRS, UMR 6082 Foton, Insa, CS 14315, 35043 Rennes, France

<sup>3</sup> CNRS LPN, 91460 Marcoussis, France

<sup>4</sup> DTU-FOTONIK, 2800 Kongens Lyngby, Denmark

rozenn.piron@insa-rennes.fr

### RESUME

Cet article synthétise les études menées à FOTON-INSA pour la réalisation de sources à base de nanostructures semi-conductrices pour les applications télécom à 1,55  $\mu\text{m}$ . Les voies explorées couvrent la réalisation de lasers à fils ou à boîtes quantiques respectivement sur substrats InP(100) nominale ou désorienté, ou InP(311)B.

**MOTS-CLEFS** : boites et fils quantiques ; InP ; lasers ; télécoms optiques

### 1. INTRODUCTION

Les fils ou les boîtes quantiques à base de semi-conducteurs sont des nano-objets dont l'utilisation comme zone active de lasers a permis d'améliorer notablement certaines caractéristiques de fonctionnement (courant de seuil, qualités dynamiques). Parmi les nombreux systèmes de matériaux III-V étudiés, le système InAs/InP permet d'atteindre la longueur d'onde de 1,55  $\mu\text{m}$  utilisée pour les télécommunications optiques. Les fils et boîtes quantiques InAs, objets de nos études, sont réalisés par épitaxie par jets moléculaires à sources gazeuses selon le mode de croissance de Stranski-Krastanow sur substrat InP. Nous présentons dans la première partie la réalisation de fils InAs sur substrat conventionnel InP(100), de boîtes quantiques InAs sur substrat InP(311)B, ainsi que les développements récents sur substrat InP(100) désorienté. La seconde partie relate les performances atteintes par les lasers à ruban large à base de ces trois types de nanostructures. Enfin, dans une troisième partie, les développements récents de composants optoélectroniques mis en œuvre dans le cadre du réseau d'excellence européen ePIXnet en collaboration avec le LPN et DTU-Fotonik seront évoqués.

### 2. FORMATION DE NANOSTRUCTURES SUR SUBSTRAT INP

Depuis une vingtaine d'années, le système de matériaux InAs/GaAs s'est imposé comme le système de référence pour la croissance de boîtes quantiques semi-conductrices par la méthode Stranski-Krastanow (SK). Dans le système InAs/InP, du fait d'un plus faible désaccord de maille (3% contre 7% pour InAs/GaAs), la même méthode de croissance conduit à des nanostructures présentant différentes morphologies (boîtes ou fils quantiques) selon l'orientation du substrat et des conditions de croissance (flux d'arsenic notamment). La figure 1 présente des images par microscopie à force atomique (AFM) de différents types de nanostructures. Sur un substrat d'InP(100) exactement orienté, des conditions de croissance optimisées conduisent à des fils quantiques de longueur 300 nm, de largeur 20 nm et de hauteur 2,2 nm et à des densités de l'ordre de  $2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  (figure 1a). Lorsqu'ils sont recouverts, ces fils quantiques émettent vers 1,5  $\mu\text{m}$  à température ambiante, longueur d'onde qui se décale entre 1,55 et 1,6  $\mu\text{m}$  lorsque plusieurs plans sont empilés.

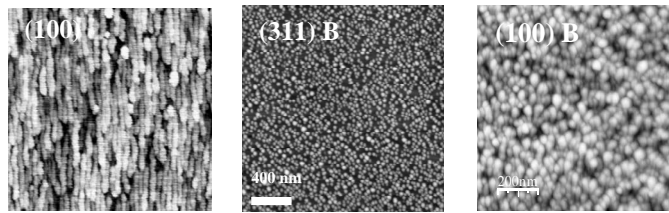


Fig. 1 : images AFM des nanostructures InAs obtenues sur les substrats InP(100) (image de 1x1  $\mu\text{m}^2$ ), InP(311)B, InP(100) désorienté ( $2^\circ$ ).

Sur un substrat d’InP(311)B, la réduction du flux d’arsenic (débit de 0,3 sccm par exemple) permet d’obtenir une forte densité ( $1,1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ) de boîtes quantiques de 25 nm de diamètre et 3 nm de hauteur (figure 1b). L’empilement de plus de 6 plans de ces boîtes quantiques est possible sans dégradation des propriétés optiques. De plus, le laboratoire FOTON-INSA a développé une procédure de croissance spécifique permettant de contrôler la longueur d’onde d’émission de ces boîtes quantiques autour de 1,55  $\mu\text{m}$  [1].

Plus récemment, le laboratoire s’est intéressé à la croissance de nanostructures InAs sur des substrats InP(100) faiblement désorientés ( $2^\circ$ ). Comme le montre la figure 1c, il est possible d’obtenir une forte densité ( $>5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ) de boîtes quantiques sur ce type de substrat. Des propriétés intéressantes, tant du point de vue de la longueur d’onde que de l’efficacité optique, ont été obtenues pour un empilement de 5 plans.

Ces avancées sur la croissance de nanostructures émettant à 1,55  $\mu\text{m}$  ont été obtenues dans le cadre du réseau d’excellence Européen SANDIE.

### 3. CARACTERISATION DE LASERS RUBANS LARGES

L’optimisation des boîtes InAs sur substrat InP(311)B a permis l’obtention d’une émission laser présentant une densité de courant de transparence  $J_\infty$  (J pour  $L=\infty$ ) de 21  $\text{A/cm}^2$  pour une structure à 3 plans de boîtes (soit  $J_\infty=7 \text{ A/cm}^2$  par plan) [2], ce qui représente l’état de l’art mondial pour des lasers InP émettant à 1.55  $\mu\text{m}$  à température ambiante.

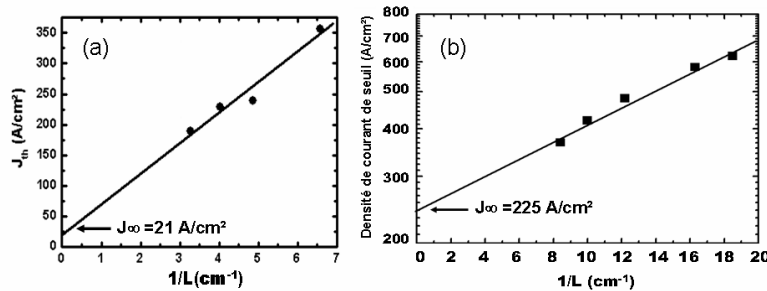


Fig. 2 : Densité de courant de seuil  $J_{th}$  en fonction de l’inverse de la longueur de la cavité à température ambiante, obtenue en mode pulsé. (a)laser 3 plans de boîtes sur InP(311)B (b )laser 5 plans de fils sur substrat InP(100).

Pour les structures InAs/InP(100), les résultats obtenus pour un laser ruban large (largeur 100  $\mu\text{m}$ ) comprenant 5 plans de fils sont présentés figure 2b. Une densité de courant de transparence de 45  $\text{A/cm}^2$  par plan est déduite [3]. Les travaux sur la croissance de boîtes sur substrat InP(100) désorienté ont permis à ce stade l’obtention de l’émission laser à température ambiante à partir d’une structure comprenant 5 plans de boîtes présentant une densité de courant de transparence comparable à celle obtenue à partir de fils [4].

### 4. VERS LA REALISATION DE SOURCES POUR LES TELECOMMUNICATIONS A 1,55 $\mu\text{M}$

Les performances atteintes à FOTON-INSA sur les lasers rubans larges à base de boîtes InAs/InP(311)B et à base de fils InAs/InP(100) ont permis respectivement la réalisation de lasers

rubans fins émettant en continu en collaboration avec le LPN et de lasers à blocage de mode en collaboration avec DTU-FOTONIK dans le cadre du réseau d'excellence Européen ePIXnet. Pour des lasers de 3  $\mu\text{m}$  de large et de longueur de cavité de 1100  $\mu\text{m}$  réalisés au LPN, une émission laser en continu à température ambiante a été obtenue à 1,52  $\mu\text{m}$ , sur l'état fondamental des boîtes quantiques InAs/InP(311)B, pour un courant de seuil de 41 mA. Pour ces lasers, une mesure du facteur de Henry à une fréquence de modulation de 7 GHz (figure 3a) a montré que ce paramètre augmentait fortement au dessus du seuil puis demeurait stable en fonction du courant injecté [5].

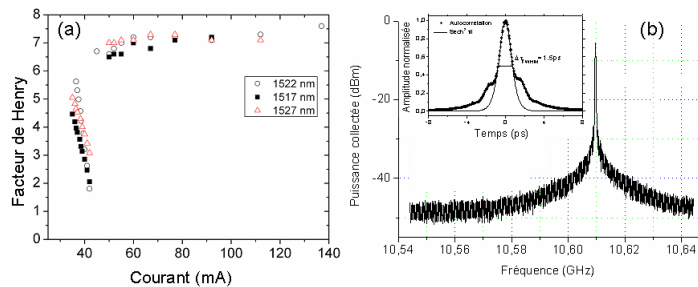


Fig. 3 : (a) facteur de Henry mesuré au-dessus et au-dessous du seuil pour un laser InAs/InP(311)B de longueur 1100  $\mu\text{m}$  et de largeur 3  $\mu\text{m}$ . (b) Spectre RF d'un laser à blocage de modes à 2 sections (section de l'absorbant saturable de 3,2 % de la longueur totale de 4 mm) fonctionnant à 10 GHz (en insert : trace d'auto-corrélation et ajustement)

En collaboration avec DTU-Fotonik, des lasers à blocage de modes à base de fils InAs/InP(100) émettant à 1,59  $\mu\text{m}$  ont montré un fonctionnement en mode impulsionnel à 10 GHz (figure 3b) [6]. Ces lasers à 2 sections présentent des performances optiques prometteuses : largeur d'impulsion inférieure à la picoseconde et bruit de phase abaissé de 20dB par rapport à celui obtenu dans les lasers à un plan de puits.

### CONCLUSION

Cette synthèse des principaux résultats obtenus par FOTON-INSA sur la maîtrise des lasers à base de boîtes et fils quantiques sur substrat InP pour les télécommunications optiques montre un savoir faire situé à l'état de l'art dans le domaine.

### RÉFÉRENCES

- [1] C. Paranthoën, N. Bertru, O. Dehaese, A. Le Corre, S. Loualiche, B. Lambert et G. Patriarche, "Height dispersion control of InAs/InP quantum dots emitting at 1.55  $\mu\text{m}$ " *Appl. Phys. Lett.*, 78, 1751, 2001.
- [2] P. Caroff, C. Paranthoën, C. Platz, O. Dehaese, H. Folliot, N. Bertru, C. Labbe, R. Piron, E. Homeyer, A. Le Corre, et S. Loualiche, "High gain and low threshold InAs quantum-dot lasers on InP" *Appl. Phys. Lett.*, 87, 243107, 2005.
- [3] D. Zhou, R. Piron, M. Dontabactouny, O. Dehaese, F. Grillot, T. Batte, K. Tavernier, J. Even and S. Loualiche, "Low-threshold current density InAs quantum dash lasers on InP (100) grown by molecular beam epitaxy", *Electronics Letters*, 45, 1, 50-51, 2009.
- [4] G. Elias, A. Létoublon, R. Piron, I. Alghoraibi, A. Nakkari, N. Chevalier, K. Tavernier, A. Le Corre, N. Bertru et S. Loualiche, "Achievement of high density InAs/GaInAsP quantum dots on misoriented InP(001) substrates emitting at 1.55 $\mu\text{m}$ ", *Jpn. J. Appl. Phys.* 48, 070204, 2009.
- [5] A. Martinez, K. Merghem, S. Bouchoule, G. Moreau, A. Ramdane, J.-G. Provost, F. Alexandre, F. Grillot, O. Dehaese, R. Piron and S. Loualiche, "Dynamic properties of InAs/InP(311)B quantum-dot Fabry-Perot lasers emitting at 1.52 $\mu\text{m}$ " *Appl. Phys. Lett.*, 93, 021101, 2008.
- [6] M. Dontabactouny, C. Rosenberg, E. Semenova, D. Larsson, K. Yvind, R. Piron, F. Grillot, O. Dehaese, S. Loualiche and A. Le Corre, "10-GHz 1.59  $\mu\text{m}$  Quantum Dash Passively Mode-Locked Two-Section Lasers" (Oral Presentation), *SPIE Photonics Europe*, Brussels, April 12-16, Belgium, 2010.