



Proposition de thèse

“Etude de la nucléation III-V/Si pour le photonique intégrée sur silicium”

Contexte de la proposition:

La proposition de thèse décrite ci-dessous sera financée à moitié par le projet ANR ANTIPODE (N° ANR-14-CE26-0014-01) et à moitié par la Région Bretagne à travers le programme ARED (allocations de recherche doctorale). La date limite de candidature est le 22 juin 2015. La thèse commencera en septembre 2015 et durera trois ans. Le candidat sera accueilli au laboratoire FOTON (CNRS) de l'INSA de Rennes.

Programme scientifique:

Jusqu'à maintenant, le silicium est considéré comme le matériau de référence pour toute l'industrie du photovoltaïque et celle des puces micro-électroniques, avec en particulier l'utilisation de la technologie CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). L'un des sujets brûlants à l'heure actuelle est le développement de sources lasers sur silicium.¹ Le laboratoire FOTON travaille sur le développement de la croissance cristalline hétérogène de nanostructures à base de semi-conducteurs III-V sur silicium, en utilisant le GaP, qui est quasiment en accord de maille avec le silicium.^{2,3,4,5} Cela devrait permettre d'obtenir un cristal parfaitement cohérent, ce qui est très prometteur pour le développement de composants optiques efficaces. Toutefois, la croissance cristalline hétérogène III-V/Si entraîne la formation de différents défauts, générés lors des toutes premières couches atomiques déposées. Dans l'approche proposée, la qualité du cristal de GaP dépend en particulier fortement de la surface initiale du silicium.^{6,7} Cela a été aussi remarqué par les autres membres du consortium du projet ANTIPODE, spécialistes des composants GaSb/Si (IES Montpellier) et GaN/Si (CRHEA Valbonne).

La thèse proposée ici vise à comprendre l'influence de la surface de silicium au niveau atomique sur la croissance cristalline du GaP et d'autres composés III-V. Pour cela, **des couches de silicium seront déposées par une technique de dépôt en phase vapeur sous ultra-vide (UHVCVD) et la surface analysée au niveau atomique par de la microscopie à effet tunnel (STM), et de la microscopie à force atomique (AFM)** par le candidat, en étroite collaboration avec l'Institut de Physique de Rennes (IPR). Des semi-conducteurs III-V seront ensuite déposés par épitaxie par jets moléculaires (MBE) et analysés par STM, Microscope électronique en transmission (TEM) et diffraction des rayons X (rayonnement synchrotron si nécessaire), disponibles dans le projet ANTIPODE. Finalement, **les caractérisations**

¹ D. Liang and J. E. Bowers, Nat. Photon. **4**, 511 (2010).

² K. Volz et al., J. Cryst. Growth **315**, 37 (2011).

³ K. Yamane et al., J. Cryst. Growth **312**, 2179 (2010).

⁴ T. J. Grasman et al., Appl. Phys. Lett. **94**, 232106 (2009).

⁵ A. Létoublon et al. J. Cryst. Growth **323**, 409 (2011).

⁶ Grassman et al. Appl. Phys. Lett. **102**, 142102 (2013); doi: 10.1063/1.4801498

⁷ Quinci et al. J. Cryst. Growth **380**, 157 (2013).

structurales à l'échelle atomique seront comparées à des simulations atomistiques conduites par le candidat, le principal objectif étant la compréhension de la génération des défauts cristallins pendant la croissance cristalline III-V/Si.

Collaborations:

Ce travail sera effectué dans une équipe de recherche avec de nombreuses collaborations. Il/Elle travaillera avec les membres des laboratoires FOTON et IPR, reconnus pour leur expertise dans le domaine. Il/Elle profitera également des collaborations extérieures au niveau national (membres du consortium ANTIPODE : IES, CRHEA pour l'épitaxie III-V, LPN et CEMES pour la microscopie) ou au niveau international.

A propos du laboratoire FOTON (INSA-Rennes):

FOTON est un laboratoire CNRS, reconnu au niveau européen au travers de sa participation aux réseaux d'excellence européens sur les propriétés des nanostructures et les composants associés : SANDIE et EPIXNET. FOTON fait aussi partie d'un laboratoire d'excellence (« Labex » CominLABs) et d'un Institut de recherche technologique (IRT-Bcom) au niveau national.

Le laboratoire a une grande expérience dans la croissance,⁸ les propriétés structurales,⁹ optiques¹⁰ et électriques des nanostructures à base de semi-conducteurs III-V, et pour le développement de composants à base de semi-conducteurs comme des LEDs⁷, des diodes lasers¹¹, ou des lasers à cavité verticale (VCSELs).¹² Afin de transposer ces savoir-faire sur substrat de silicium, FOTON a développé depuis 2010 l'intégration pseudomorphique de semi-conducteurs III-V sur silicium.¹³

A propos du candidat:

Le candidat devra avoir des connaissances significatives dans les semi-conducteurs, et des connaissances de base dans la physique du solide, l'optique et la thermodynamique. Le candidat devra avoir un bon niveau d'anglais, un goût pour les aspects expérimentaux et les simulations, et devra pouvoir interagir facilement avec les autres membres de l'équipe. Il/Elle devra pouvoir parler et écrire en anglais, et sera amené à présenter ses travaux dans des conférences internationales. Il/Elle participera régulièrement aux réunions de projets et aux rapports d'avancement.

Supervision & Contact :

Dr. C. Cornet, charles.cornet@insa-rennes.fr, Maître de conférences, Hab. Laboratoire FOTON, croissance III-V/Si growth, coordinateur du projet ANR ANTIPODE 0 2 23 23 83 99

Dr. P. Turban, pascal.turban@univ-rennes1.fr, Maître de conférences, laboratoire IPR, STM et analyses de surface, 0 2 23 23 52 96

Dr. L. Pedesseau, laurent.pedesseau@insa-rennes.fr, Maître de conférences, laboratoire FOTON, simulations atomistiques par DFT, 0 2 23 23 88 69

FOTON : <http://foton.cnrs.fr/v2012/>

INSA Rennes : <http://www.insa-rennes.fr/>

IPR : <http://www.ipr.univ-rennes1.fr/wordpress/?lang=fr>

⁸ C. Paranthoën et al., Appl. Phys. Lett. **78**, 1751 (2001).

⁹ A. Létoublon et al., Phys. Rev. Lett. **92**, 186101 (2004).

¹⁰ C. Cornet et al., Phys. Rev. B **74**, 035312 (2006).

¹¹ D. Zhou et al. Electron. Lett. **45**, 50 (2009).

¹² O. Castany et al. Appl. Phys. Lett. **98**, 161105 (2011).

¹³ T. Nguyen Thanh et al., J. Appl. Phys. **112** 053521 (2012).