

LIENS OPTIQUES HETEROGENES III-V/SILICIUM POUR LES INTERCONNECTIONS OPTIQUES

Christian Seassal¹, Haroldo T. Hattori¹, Xavier Letartre¹, Pedro Rojo-Romeo¹, Pierre Viktorovitch¹, Marc Zussy², Lea Di Cioccio², Lubna El Melhaoui² et Jean-Marc Fedeli²

¹ LEOM-CNRS-Ecole Centrale de Lyon, 36 Avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully

² CEA-DRT/LETI 17 Rue des Martyrs 38054 Grenoble

Christian.Seassal@ec-lyon.fr

RESUME

Nous proposons une nouvelle approche visant à réaliser un lien optique intégré pour les interconnexions intra-puce. Ce lien inclut les composants optoélectroniques (microlasers, photodétecteurs) et les composants photoniques passifs (guides d'onde). Nous proposons une approche technologique d'intégration hétérogène fondée sur l'utilisation de semi-conducteurs composés III-V pour les dispositifs optoélectroniques et du SOI (silicium sur isolant) pour les guides d'onde. Sur le plan de l'optique, nous nous proposons d'atteindre le niveau maximum de densité d'intégration photonique, en exploitant un très fort confinement de la lumière.

Dans cette communication, nous présenterons d'abord les concepts de base sur lesquels est fondé le fonctionnement des dispositifs photoniques envisagés dans le cadre du programme européen PICMOS, et en particulier des microlasers à cristaux photoniques 2D ou à microdisques. Nous discuterons ensuite de l'association des dispositifs de base pour réaliser des liens optiques présentant un faible niveau de perte. Enfin, nous présenterons l'état actuel de ces travaux, en terme de design, de réalisations, et de caractérisation. Nous montrerons en particulier qu'à l'heure actuelle, il est possible de coupler environ 50% de la lumière du laser vers le guide d'onde.

INTRODUCTION

L'augmentation de la densité d'intégration en microélectronique amène à un goulot d'étranglement en terme d'interconnexions. Plus précisément, l'utilisation de solutions impliquant les connexions métalliques traditionnelles entraînera une croissance déraisonnable de la consommation électrique, et un manque de synchronisme entre les différents éléments de la puce. Dans le cas des liens les plus long (plusieurs millimètres), l'utilisation d'une alternative à base de liens optiques peut être avantageuse, et les solutions correspondantes doivent être analysées, au niveau de la recherche, dès à présent. Plus généralement, et à plus long terme, le développement de liens optiques complets et intégrés sont à la base du développement de futurs circuits intégrés photoniques.

Ces liens doivent présenter des faibles pertes, une faible consommation de puissance et un très faible encombrement. Les substrats de SOI permettent de réaliser des guides d'onde en forte densité, du fait du fort contraste d'indice exploitable. Dans le cas d'applications dans le domaine des interconnexions optiques, ils pourraient être intégrés au-dessus des circuits microélectroniques (approche « above-IC »). Afin de coupler la lumière dans un tel circuit photonique passif, des approches hybrides sont généralement proposées, à base de sources laser semiconductrices classiques alignées avec l'entrée des guides d'onde. Ceci implique le développement de designs complexes de tapers et de coupleurs, et la limitation du nombre d'entrées disponibles. Une approche bien plus amont consiste à générer la lumière dans le silicium-même. L'approche développée dans le cadre du programme PICMOS [1] et décrite ici (Fig. 1) consiste à intégrer au-dessus du circuit photonique passif d'une « couche optique active » comprenant un milieu à gain constitué d'une hétérostructure à semi-conducteur III-V de la filière InP (émission visée dans la gamme 1.3-1.55 μ m).

Cette communication est centrée sur l'intégration de microlasers et de guides d'onde. En ce qui concerne les microlasers, nous évaluons les microdisques [2] et les cristaux photoniques [3] réalisés sur des membranes très fines (~250nm) comme constituants de base des résonateurs. Ce sont des structures permettant un confinement optimal des photons, à la fois dans l'épaisseur et latéralement. Les points importants de l'étude sont alors de vérifier la possibilité de réaliser le laser au-dessus du guide d'onde, et d'optimiser le couplage de la lumière vers le guide d'onde. De ce fait, dans notre approche, la technologie utilisée pour réaliser l'intégration hétérogène est de première importance, et les paramètres topographiques doivent être finement ajustés.

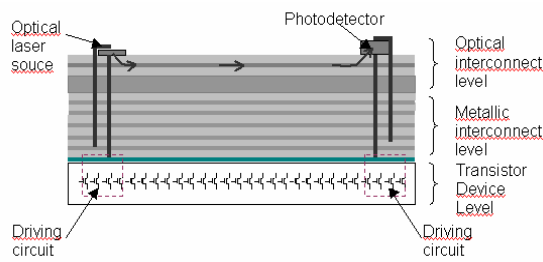


Fig.1 : Représentation schématique d'un lien optique intégré au-dessus d'un circuit intégré silicium

REALISATION ET CARACTERISATION

La technologie de réalisation des liens optiques hétérogène comprend d'abord la réalisation du circuit photonique SOI à base de micro-guides à rubans, par lithographie deep-UV et gravure ionique réactive, et sa planarisation. Dans un deuxième temps, une hétérostructure III-V est réalisée par croissance épitaxiale et collée par adhésion moléculaire au-dessus du circuit photonique. Enfin, l'hétérostructure III-V est structurée par lithographie électronique et gravure ionique réactive de manière à réaliser le microlaser (à microdisques, Fig 2a ou à cristaux photoniques 2D, Fig. 2b), aligné aux guides d'onde.

Parallèlement, la technologie d'injection électrique de tels microlasers est mise au point. Elle comprend le développement d'hétérostructures permettant la réalisation de contacts électriques de bonne qualité, et la réalisation des contacts métalliques proprement dits. Ces technologies seront décrites en détail.

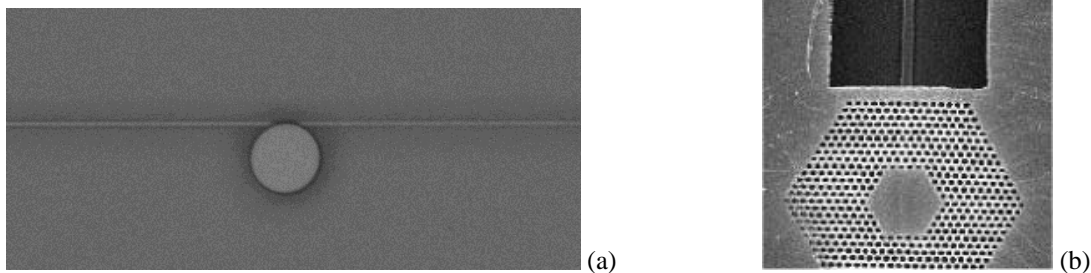


Fig. 2 : Systèmes couplés laser-guide à microdisque (a) et à cristaux photoniques (b) au-dessus d'un guide ruban en SOI

Sur la base de ces technologies, des composants photoniques ont été conçus et dimensionnés en exploitant notamment la FDTD (Finite Difference Time Domain) 3D. Un premier exemple est donné par les microdisques couplés aux guides d'onde de manière évanescente. L'étude a montré que la séparation verticale entre le disque et le guide devait être de 200 à 300 nm, de manière à permettre un couplage important (supérieur à 50%), tout en maintenant une puissance de seuil laser raisonnable. Les dispositifs correspondant ont été réalisés et caractérisés. Nous avons mesuré une efficacité de couplage supérieure à 30%.

Un second exemple est fourni par les microlasers à cristaux photoniques 2D exploitant des modes de Bloch à très faible vitesse de groupe. Dans ce cas, nous avons ajusté les paramètres du cristal photonique de manière à obtenir un bon accord de phase entre le mode laser et le mode injecté dans le guide d'onde. Nous avons prévu une efficacité de couplage de entre 30 et 60 % selon le design précis du cristal photonique et du guide d'onde, à condition que la séparation verticale laser-guide soit bien ajustée.

[1] <http://picmos.intec.ugent.be/>

[2] C. Seassal, P. Rojo-Romeo, X. Letartre, P. Viktorovitch, G. Hollinger, E. Jallaguier, S. Pocas, and B. Aspar, "InP microdisk lasers on silicon wafers: CW room temperature operation at 1.6 μm ," *Electron. Lett.*, vol. 37, pp. 222-223, 2001.

[3] C. Seassal, C. Monat, J. Mouette, E. Touraille, B. Bair, H. Hattor, J.L. Leclercq, X. Letartre, P. Rojo-Romeo, P. Viktorovitch, *J. Selected Topics in Quantum Electron* 11,395 (2005)