

# MULTIPLEXAGE EN ESPACE LIBRE UTILISANT UN RÉSEAU DE LENTILLES À CRISTAUX PHOTONIQUES

Maxime Guais,<sup>1,\*</sup> Grégory Maisons,<sup>1</sup> Johan Abautret,<sup>1</sup> Mickael Brun,<sup>1</sup> Delphine Marris-Morini,<sup>2</sup> Mathieu Carras,<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *mirSense, Centre d'intégration NanoInnov, 8 avenue de la Vauve, Palaiseau, 91120, France*

<sup>2</sup> *Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, Université Paris Sud, CNRS, Université Paris Saclay, 91120 Palaiseau, France*

\*maxime.guais@mirsense.com

## RÉSUMÉ

Ce travail présente une nouvelle solution de multiplexage de longueur d'ondes en espace libre pour le moyen infrarouge. La conception de ce dispositif repose sur la combinaison d'un réseau de lentille à cristaux photonique avec des plans d'interfaces inclinés.

**MOTS-CLEFS :** *Moyen infrarouge; Nanophotonique; Cristaux photoniques; Multiplexage*

## 1. INTRODUCTION

L'apparition des lasers à semi-conducteur efficaces dans le moyen infrarouge (MIR) comme les lasers à cascade quantique (QCL) [1], ont grandement contribué au développement de la spectroscopie de molécules. Pour la plupart des molécules simples, il est essentiel que la source soit mono-mode et qu'elle présente une grande finesse spectrale. La combinaison de la technologie de sélection de longueur d'onde par contre réaction répartie (DFB) avec les QCL permet de créer des sources MIR ayant les caractéristiques spectrales nécessaires à la détection de ce type de molécule [2]. Des réseaux de QCL DFB ont été créés pour augmenter la gamme spectrale atteignable par une seule puce [3]. Dans ce type de dispositif, chaque laser dispose des caractéristiques intrinsèques d'un seul QCL DFB avec une longueur d'onde et un faisceau de sortie qui lui est propre. Cependant le grand nombre de sorties inhérent au réseau de lasers implique de multiplier les composants optiques pour le traitement ou la combinaison des différents faisceaux émis. L'intégration de ces réseaux de lasers sur des plateformes photoniques intégrées ouvre donc de nouvelles perspectives pour la spectroscopie [4, 5, 6].

Ce travail a pour objectif la conception d'un composant photonique intégré pour la combinaison de faisceaux en espace libre pour des longueurs d'ondes appartenant à la gamme  $[1106, 1162] \text{ cm}^{-1}$ . Le dispositif a pour fonction de façonner chaque faisceau issu d'un réseau de QCL DFB et de les combiner en un seul spot. Il a été développé dans le cadre d'une application basée sur une technique de spectroscopie par photothermie.

Dans un premier temps nous verrons l'intérêt d'utiliser une filière Ge sur SiGe40. Ensuite il sera présenté le principe général de fonctionnement et la conception d'une lentille à cristaux photoniques (PCL). La dernière partie présentera le dispositif global regroupant un réseau de PCL couplé à des plans inclinés.

## 2. FILIÈRE UTILISÉ

Les sources MIR utilisées sont des QCLs fonctionnant dans la gamme spectrale allant de  $3\mu\text{m}$  à environ  $12\mu\text{m}$ . Le Silicium a une longueur d'onde limite où l'absorption devient trop importante autour de  $6.5\mu\text{m}$ , alors que le Germanium a une plage d'utilisation optimale allant d'environ  $2\mu\text{m}$  à  $14.5\mu\text{m}$  [7]. Ainsi le Ge est un élément de premier choix car une de ses zones de transparence englobe la gamme spectrale de fonctionnement des sources utilisées. Il bénéficie aussi des solutions technologiques de la plateforme Silicium qui associe faible coût de production et grande précision. De plus des filières Ge sur SiGe ont déjà été démontrées [4].

Le choix s'est donc porté sur une filière Ge sur SiGe40 développée par le CEA Leti où le coeur des guides est en Ge pur et la gaine est en  $\text{Si}_{0.6}\text{Ge}_{0.4}$ .

### 3. CONCEPTION PCL

Le principe de fonctionnement des lentilles à cristaux photoniques est le même que celui d'une lentille classique. Pour un chemin optique équivalent, la distance parcourue par la lumière aux extrémités du dispositif doit être plus longue que la distance parcourue au centre de ce dernier. Ainsi une onde plane traversant la PCL est transformée en onde sphérique (Figure 1), ce qui induit une focalisation des faisceaux incidents.

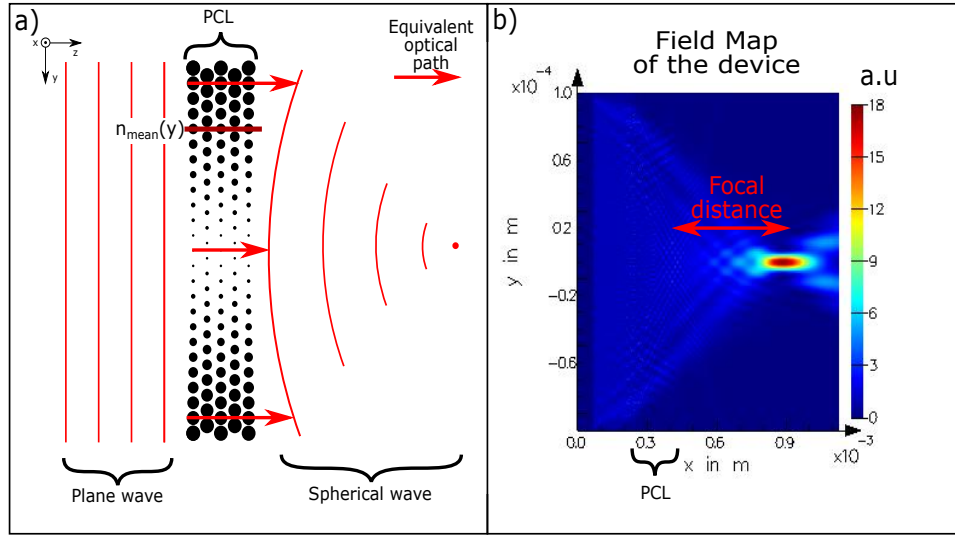


FIGURE 1 : a) Principe de fonctionnement d'une PCL à réseau hexagonal. b) Carte de champs du dispositif simulé.

Pour concevoir une PCL avec les bonnes caractéristiques il est nécessaire de bien contrôler la variation de  $n_{\text{moyen}}$  selon l'axe y (Figure 1). Déterminer l'indice  $n_{\text{moyen}}(y)$  s'effectue en faisant un calcul d'indice de réfraction "moyen" qui dépend de la largeur des trous (où piliers), du pas du réseau, des indices optiques des matériaux utilisés et de la polarisation de l'onde incidente [8].

Les PCLs conçus au cours de ce travail sont constituées d'un guide planaire avec des trous remplis de  $\text{Si}_{0.6}\text{Ge}_{0.4}$  ou d'air.

De plus, dû à la faible épaisseur des PCLs ( $\approx 100\mu\text{m}$ ), les pertes d'absorptions liées aux matériaux utilisés sont limitées.

### 4. DISPOSITIF GLOBAL

Le dispositif global est composé d'un réseau de guides planaires ayant chacun une PCL et une interface inclinée (Figure 2).

Le guide planaire a pour but de confiner la lumière dans la direction verticale (axe x sur la Figure 2). Les PCL servent à façonner chaque faisceau dans la direction horizontale (axe y sur la Figure 2).

Les interfaces inclinées sont utilisées pour la combinaison des faisceaux. L'inclinaison des plans est définie par la longueur de multiplexage ( $Z_m$  sur la Figure 2) et par les lois de Descartes de la réfraction (impliquant l'indice de réfraction du guide et de l'air).

De plus, pour avoir un spot optimal, la modification du faisceau dans la direction verticale (axe x sur la Figure 2) s'effectue à l'aide d'une lentille cylindrique placée entre le spot final et les plans inclinés.

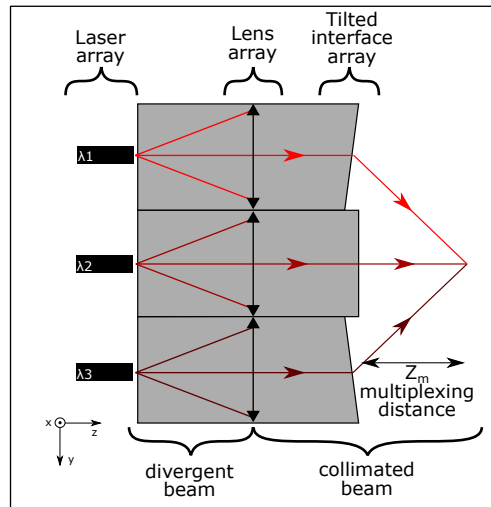


FIGURE 2 : Schéma du dispositif complet.

## CONCLUSION

Ce papier présente le développement d'un nouveau type de multiplexeur en espace libre conçu sur une filière Ge sur SiGe. Il permet de créer un unique spot où tous les faisceaux issus d'un réseau de lasers sont combinés.

Le dispositif présenté ici est conçu pour coupler 9 lasers à 1 cm de distance environ. De par ses faibles pertes, il permettra notamment d'améliorer les performances d'applications de spectroscopie à distance.

## RÉFÉRENCES

- [1] Y. Yao, A. J. Hoffman, and C. F. Gmachl, "Mid-infrared quantum cascade lasers," *Nature Photonics*, vol. 6, no. 7, pp. 432–439, 2012. [Online]. Available : <http://dx.doi.org/10.1038/nphoton.2012.143>
- [2] J. Faist, C. Gmachl, F. Capasso *et al.*, "Distributed feedback quantum cascade lasers," *Applied Physics Letters*, vol. 70, no. 20, pp. 2670–2672, 1997. [Online]. Available : <https://doi.org/10.1063/1.119208>
- [3] B. G. Lee, M. A. Belkin, R. Audet *et al.*, "Widely tunable single-mode quantum cascade laser source for mid-infrared spectroscopy," *Applied Physics Letters*, vol. 91, no. 23, p. 231101, 2007. [Online]. Available : <https://doi.org/10.1063/1.2816909>
- [4] J. Fedeli, P. Labeye, A. Marchant *et al.*, "Mid-infrared platforms for chemical sensing," in *2018 IEEE 15th International Conference on Group IV Photonics (GFP)*, Aug 2018, pp. 1–2.
- [5] C. Gilles, L. J. Orbe, G. Carpintero *et al.*, "Mid-infrared wavelength multiplexer in ingaas/inp waveguides using a rowland circle grating," *Opt. Express*, vol. 23, no. 16, pp. 20 288–20 296, Aug 2015. [Online]. Available : <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=oe-23-16-20288>
- [6] P. Barritault, M. Brun, P. Labeye *et al.*, "Design, fabrication and characterization of an AWG at 45  $\mu\text{m}$ ," *Optics Express*, vol. 23, no. 20, p. 26168, 2015. [Online]. Available : <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=oe-23-20-26168>
- [7] H. Lin, Z. Luo, T. Gu *et al.*, "Mid-infrared integrated photonics on silicon : A perspective," *Nanophotonics*, vol. 7, no. 2, pp. 393–420, 2017. [Online]. Available : <http://dx.doi.org/10.1515/nanoph-2017-0085>
- [8] F. Gauffillet and E. Akmansoy, "Design of flat graded index lenses using dielectric Graded Photonic Crystals," *Optical Materials*, vol. 47, pp. 555–560, 2015. [Online]. Available : <http://dx.doi.org/10.1016/j.optmat.2015.06.038>