



**HAL**  
open science

## Résonateur en anneau en silicium-germanium à fort facteur de qualité dans le moyen infrarouge

Marko Perestjuk, Rémi Armand, Alberto Della Torre, Milan Sinobad, Arnan Mitchell, Andreas Boes, Jean-Michel Hartmann, Jean-Marc Fedeli, Vincent Reboud, Christelle Monat, et al.

### ► To cite this version:

Marko Perestjuk, Rémi Armand, Alberto Della Torre, Milan Sinobad, Arnan Mitchell, et al.. Résonateur en anneau en silicium-germanium à fort facteur de qualité dans le moyen infrarouge. Optique Nice 2022, SFO, Jul 2022, Nice, France. hal-03800923

**HAL Id: hal-03800923**

**<https://hal.science/hal-03800923v1>**

Submitted on 6 Oct 2022

**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.

# RESONATEUR EN ANNEAU EN SILICIUM-GERMANIUM A FORT FACTEUR DE QUALITE DANS LE MOYEN INFRAROUGE

Marko Perestjuk<sup>1,2,\*</sup>, Rémi Armand<sup>1</sup>, Alberto Della Torre<sup>1</sup>, Milan Sinobad<sup>1</sup>, Arnan Mitchell<sup>2</sup>, Andreas Boes<sup>2</sup>, Jean-Michel Hartmann<sup>3</sup>, Jean-Marc Fedeli<sup>3</sup>, Vincent Reboud<sup>3</sup>, Christelle Monat<sup>1</sup> and Christian Grillet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Lyon, Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL, UMR-CNRS 5270), Ecole Centrale de Lyon, 69130 Ecully, France

<sup>2</sup>School of Engineering, RMIT University, Melbourne, VIC 3001, Australia

<sup>3</sup>Université Grenoble Alpes, CEA-Leti, 38054 Grenoble Cedex 9, France

\*email: marko.perestjuk@ec-lyon.fr

## RESUME

Nous démontrons un résonateur en anneau à fort facteur de qualité dans le moyen infrarouge sur plateforme intégrée de silicium-germanium sur silicium. Le résonateur couplé par un guide d'accès présente un facteur de qualité totale de 90 000 autour de 4,18  $\mu\text{m}$ .

**MOTS-CLEFS :** *Moyen Infrarouge, Cavités, Résonateurs en anneaux, Silicium-Germanium*

## 1. INTRODUCTION

La gamme de longueurs d'onde du moyen infrarouge (MIR) (entre 3 et 13  $\mu\text{m}$ ) a un grand potentiel pour les applications de métrologie et de spectroscopie, car de nombreuses molécules ont des raies d'absorption principales importantes dans cette gamme de fréquences [1]. Cependant, le coût élevé et l'encombrement de la technologie MIR ont empêché jusqu'à présent une véritable popularisation de ces technologies. L'intégration de composants MIR sur puce peut constituer une étape primordiale pour le développement à grande échelle de ces applications.

Les résonateurs en anneau (et en hippodrome) devraient jouer un rôle crucial dans les systèmes de détection intégrés sur puce. Comme cela a été démontré pour la première fois dans le proche IR, ils peuvent être utilisés pour générer des peignes de fréquence [5] et pourraient ainsi fournir une source de lumière MIR à large bande. C'est un élément fondamentale pour les dispositifs de détection à large gamme spectrale. Les résonateurs avec un facteur de qualité élevé peuvent également améliorer l'interaction entre la lumière et les molécules que l'on cherche à caractériser [6] avec pour objectif d'améliorer la sensibilité de tel capteur. Plusieurs résonateurs en anneau ont déjà été démontrés dans le MIR [6]. Des facteurs de qualité élevés ont été obtenus

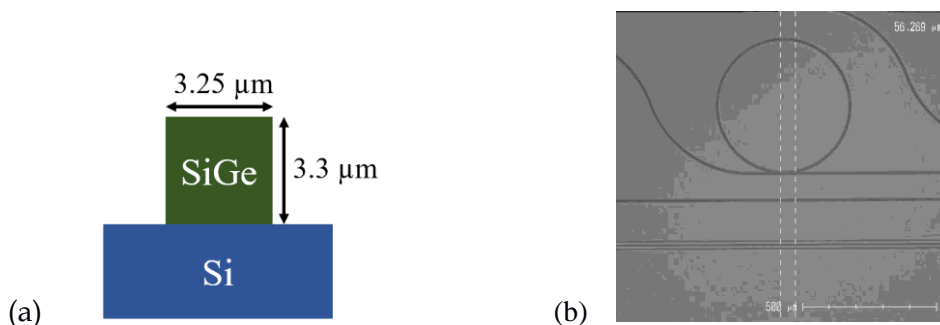


Fig. 1. (a) Plate-forme SiGe utilisée pour le résonateur en anneau. (b) Image MEB du résonateur en anneau.

principalement sur les plateformes de type silicium sur isolant [7] et de silicium sur saphir [8], qui présentent toutefois des pertes élevées au-delà de  $\sim 3,5 \mu\text{m}$  et  $\sim 6,5 \mu\text{m}$  respectivement [1]. Des résonateurs en anneau à fort facteur de qualité dans le MIR ont également été réalisés avec du verre chalcogénure [9], bien que la photosensibilité du matériau puisse se traduire par une faible stabilité temporelle du dispositif. En outre, les matériaux du groupe IV sont préférables pour une fabrication à faible coût à grande échelle. Le silicium-germanium (SiGe) est un matériau prometteur, grâce à sa compatibilité CMOS et à sa fenêtre de transparence s'étendant jusqu'à  $15 \mu\text{m}$  [1]. Des guides d'ondes SiGe à faible perte fonctionnant dans le MIR ont déjà été démontrés [2], et leurs propriétés non linéaires ont été exploitées pour la génération de supercontinuum [3]. Cependant une seule démonstration de résonateur en anneau SiGe a été rapportée, avec un facteur de qualité Q moyen de 3 200 autour d'une longueur d'onde de  $8 \mu\text{m}$  [4]. Nous présentons ici un résonateur en anneau SiGe couplé à un guide d'ondes, qui présente un facteur de qualité Q chargé de 90 000 autour de  $4,18 \mu\text{m}$ .

## 2. FABRICATION ET MESURE DE LA RESONANCE DE LA CAVITE

Notre plateforme consiste en un guide d'ondes en  $\text{Si}_{0,6}\text{Ge}_{0,4}$  de  $3,3 \mu\text{m}$  d'épaisseur et de  $3,25 \mu\text{m}$  de largeur, non-recouvert, sur un substrat de silicium (Fig. 1a). Les résonateurs ont été fabriqués sur une ligne pilote CMOS de 200 mm au CEA-Leti par photolithographie en ultraviolet profond et gravure ionique réactive profonde. Un rayon d'anneau de  $R = 250 \mu\text{m}$  (Fig. 1b) a été choisi pour cibler une gamme spectrale libre (FSR) de 53 GHz. Le gap de couplage entre l'anneau et le guide d'ondes d'accès est de 250 nm.

La Fig. 2 montre un schéma de notre installation de mesure. La caractérisation de la résonance de la cavité a été effectuée à l'aide d'un laser à cascade quantique (QCL-DFB) de  $4,18 \mu\text{m}$  d'Adtech fournissant de la lumière continue. La lumière découplée a été enregistrée par un analyseur de spectre optique à transformée de Fourier Thorlabs (OSA). Nous n'avons pas utilisé le

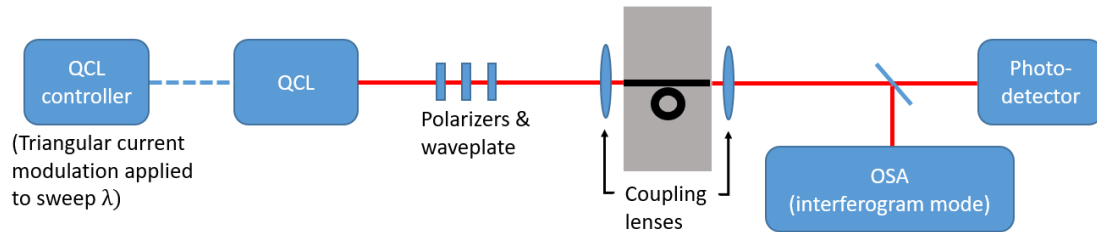


Fig. 2. Configuration de la mesure.

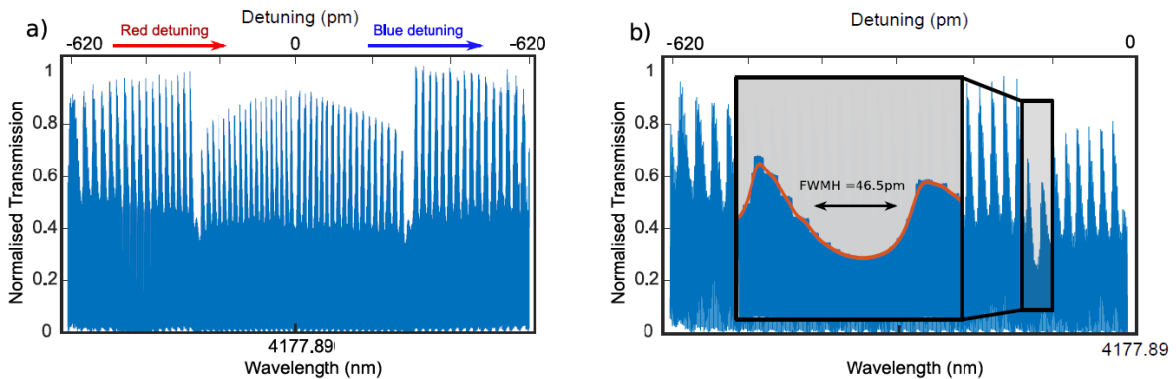


Fig. 3. (a) Balayage de la longueur d'onde (rampe montante et rampe descendante) de la résonance de la cavité avec un QCL continu. La résonance de la cavité à une longueur d'onde spécifique peut être clairement distinguée des résonances de Fabry-Pérot, qui se produisent en raison de la facette du guide d'ondes au niveau du couplage d'entrée et de sortie. (b) Zoom avant sur la résonance de la cavité.

mode spectral mais l'OSA a été utilisé comme photodétecteur à travers l'interférométrie entre les deux faisceaux retardés pour avoir moins de bruit qu'avec un photodétecteur normal non refroidi. La longueur d'onde d'émission du QCL a été modulée entre 4177,27 nm et 4177,89 nm en appliquant une modulation de courant triangulaire. La puissance de la pompe optique était de 20 mW (mesurée directement avant la lentille de couplage d'entrée).

La figure 3a montre une période de la modulation enregistrée par le mode interférogramme de l'OSA. Sur toute la gamme de longueurs d'onde, on observe des résonances de Fabry-Pérot prononcées, qui résultent de la cavité formée par les deux faces d'extrémité du guide d'ondes d'accès. Néanmoins, la résonance de la cavité peut être clairement distinguée sur ce graphique : elle se manifeste comme un creux supplémentaire apparaissant deux fois, respectivement pendant l'augmentation et la diminution de la longueur d'onde de la pompe. La figure 3b montre un zoom de la résonance de la cavité. De cette résonance, nous avons pu extraire un facteur de qualité total (chargé) de  $Q = 90\,000$ . Nous n'avons pas encore déterminé si nous sommes dans un régime de couplage critique. Cependant, pour le facteur de qualité intrinsèque, une valeur bien supérieure à  $10^5$  est attendue.

### 3. CONCLUSION

En conclusion, nous avons démontré un résonateur en anneau SiGe fonctionnant autour de  $4,18\ \mu\text{m}$ , avec un facteur de qualité  $Q$  chargé de  $90\,000$ . Ces résultats constituent une base pour la génération de peignes de fréquence dans la gamme spectrale MIR. Le fonctionnement à  $4,18\ \mu\text{m}$  n'était limité que par la disponibilité du QCL, alors que la plateforme SiGe permet des longueurs d'onde beaucoup plus grandes. Nous espérons donc être en mesure de démontrer des facteurs de qualité  $Q$  similaires dans le MIR à d'autres longueurs d'ondes plus élevées.

### 4. REMERCIEMENTS

Nous reconnaissons le soutien du Laboratoire International Associé en Photonique entre la France et l'Australie (LIA ALPhFA) et de l'Agence Nationale de la Recherche (MIRSICOMB, ANR-17-CE24-0028). Le projet ECLAUSion a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention Marie Skłodowska-Curie n° 801512.

### RÉFÉRENCES

- [1] R. Soref, "Mid-infrared photonics in silicon and germanium," *Nature Photonics* 4, 495-497 (2010).
- [2] L. Carletti, et al., "Nonlinear optical response of low loss silicon germanium waveguides in the mid-infrared," *Opt Express* 23, 8261-8271 (2015).
- [3] M. Sinobad, et al., "Mid-infrared octave spanning supercontinuum generation to  $85\ \mu\text{m}$  in silicon-germanium waveguides," *Optica* 5 (2018).
- [4] J. M. Ramirez, et al., "Broadband integrated racetrack ring resonators for long-wave infrared photonics," *Opt Lett* 44, 407-410 (2019).
- [5] T. J. Kippenberg, et al., "Microresonator-based optical frequency combs," *Science* 332, 555-559 (2011).
- [6] T. Hu, et al., "Silicon photonic platforms for mid-infrared applications [Invited]," *Photonics Research* 5 (2017).
- [7] S. A. Miller, et al., "Low-loss silicon platform for broadband mid-infrared photonics," *Optica* 4 (2017).
- [8] R. Shankar, et al., "Integrated high-quality factor silicon-on-sapphire ring resonators for the mid-infrared," *Applied Physics Letters* 102 (2013).
- [9] H. Lin, et al., "Demonstration of high-Q mid-infrared chalcogenide glass-on-silicon resonators," *Opt Lett* 38, 1470-1472 (2013).