



**HAL**  
open science

## Optimisation et Caractérisation hyper-frequence d'un modulateur en vue de son integration verticale sur un VCSEL

Ludovic Marigo-Lombart, Stéphane Calvez, Olivier Gauthier-Lafaye, Antoine Monmayrant, Alexandre Arnoult, Alexandre Rumeau, Christophe Viallon, Hugo Thienpont, Krassimir Panajotov, Guilhem Almuneau

### ► To cite this version:

Ludovic Marigo-Lombart, Stéphane Calvez, Olivier Gauthier-Lafaye, Antoine Monmayrant, Alexandre Arnoult, et al.. Optimisation et Caractérisation hyper-frequence d'un modulateur en vue de son integration verticale sur un VCSEL. 16ème Journées National de Micro Nano et Optoélectronique (JNMO 2018), Jun 2018, Cap Esterel, France. 2018. hal-01980272

**HAL Id: hal-01980272**

**<https://laas.hal.science/hal-01980272>**

Submitted on 14 Jan 2019

**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.

# OPTIMISATION ET CARACTERISATION HYPER-FREQUENCE D'UN MODULATEUR EN VUE DE SON INTEGRATION VERTICALE SUR UN VCSEL

L. Marigo-Lombart<sup>1,2\*</sup>, S. Calvez<sup>1</sup>, O. Gauthier-Lafaye<sup>1</sup>, A. Monmayrant<sup>1</sup>, A. Arnoult<sup>1</sup>, A. Rumeau<sup>1</sup>, C. Viallon<sup>1</sup>, H. Thienpont<sup>2</sup>, K. Panajotov<sup>2</sup>, G. Almuneau<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> LAAS - CNRS, Université de Toulouse, CNRS, F-31400, France

<sup>2</sup> Department of Applied Physics and Photonics (TW-TONA), Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, B-1050 Brussels, Belgium

\* [imarigol@laas.fr](mailto:imarigol@laas.fr) – [almuneau@laas.fr](mailto:almuneau@laas.fr)

## RESUME

Les VCSELs (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) sont largement utilisés pour les applications de communication optique à très haute fréquence telles que les data centers. Dans les prochaines années les débits de ces composants devront atteindre 100 Gbit/s afin de satisfaire l'augmentation croissante des transferts de données. Dans ce but, l'amélioration continue de leur design semble atteindre des limites dues à la dynamique des porteurs. Ainsi, nous proposons une approche innovante consistant à intégrer verticalement un modulateur à électro-absorption au-dessus du VCSEL, dont la puissance de sortie sera modulée grâce à la tension appliquée aux bornes du modulateur. Nous démontrons ici une modulation de plus de 40 % à une fréquence supérieure à 25 GHz avec un chirp inférieur à 0.1 nm ce qui en fait une alternative très prometteuse.

## 1. INTRODUCTION

Les VCSEL sont au cœur de nombreuses études tant leurs applications sont vastes, allant des souris optiques au LIDAR pour les voitures autonomes en passant par les data centers où grâce à leur faible consommation, faible densité, leur faisceau circulaire, ils ont surpassé les lasers à émission par la tranche. L'amélioration constante de leur design, tant sur la cavité que l'optimisation de l'injection électrique dans les miroirs, a permis d'atteindre des fréquences de coupure supérieures à 30 GHz [1,2] au prix d'un courant élevé et d'un design d'épitaxie complexe. Cependant, pour surpasser la limitation due à la dynamique des porteurs, d'autres alternatives ont été étudiées telles que l'intégration latérale d'une seconde cavité [3] conduisant à un fort couplage. German et al. et Choquette et al. [4,5] ont travaillé sur l'intégration verticale d'un modulateur électro-optique basé sur la modification de l'indice de réfraction des couches du miroir supérieur lorsqu'un champ électrique y est appliqué. Cependant, dans cette approche, un couplage important réside entre les deux cavités ce qui augmente le chirp et diminue la bande passante atteignable. Van Esiden et al. [6] ont travaillé sur l'intégration verticale d'un modulateur à électro-absorption en vue de découpler les deux cavités en augmentant le nombre de paires dans le miroir les séparant. Ce type de modulateur, basé sur l'absorption,

n'est optiquement limité que par le temps de recombinaison des photons provenant du VCSEL et permettrait donc d'atteindre plusieurs centaines de GHz.

## 2. DESCRIPTION DE L'ETUDE

Nous avons orienté notre étude sur cette approche en travaillant à la fois sur le modulateur lui-même en optimisant le design de la cavité (épaisseur des puits et leur nombre, et épaisseurs des barrières) et également les périodes des DBR, mais aussi sur son intégration sur le VCSEL et le découplage des cavités. Pour assurer le fonctionnement à haute fréquence, nous avons aussi cherché à optimiser des électrodes d'accès afin d'en diminuer au maximum les pertes et les capacités parasites. Dans cette contribution, nous explicitons notre choix d'utiliser un accès micro ruban comparé à un coplanaire plus fréquemment utilisé. Ensuite, une fois l'accès optimisé et le composant fabriqué, nous décrivons la caractérisation hyper-fréquence d'un modulateur vertical seul, sans émission du VCSEL afin d'optimiser le banc de mesure avec un composant simple et connu en statique.

## 3. RESULTATS

Nous avons dans un premier temps caractérisé le modulateur seul en statique et démontré [7] une profondeur de modulation de 40% pour 4 V appliqués dans le cas de miroirs dopés. Suite à son intégration verticale sur le VCSEL, le composant global présente une modulation de plus de 40% et un chirp en deçà de 0.1 nm ce qui le rend attrayant pour des communications optiques.

En parallèle de cette étude en statique il est primordial d'optimiser l'injection électrique à haute fréquence. De par sa simplicité de fabrication l'accès coplanaire comprenant un plan de masse commun entre les deux pointes externes le tout situé dans même plan est fréquemment utilisé en optoélectronique. Cependant, avec substrat dopé, comme c'est le cas ici, pour alimenter en courant le VCSEL par sa face arrière, le couplage du signal hyperfréquence au substrat s'avère très important (représenté sur la Figure 1) et conduit à des courants de Foucault et des courants de fuite dus aux champs très

importants qui augmentent considérablement les pertes à très hautes fréquences.

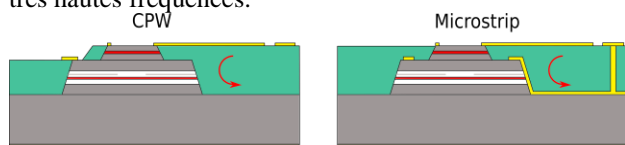


Figure 1: Comparaison accès coplanaire (gauche) et micro ruban (droite) pour une injection hyper fréquence dans le modulateur.

De plus, si l'on considère l'accès seul, sans l'impact du substrat, nous obtenons la simulation de la réflexion et la transmission de ligne coplanaire comparée au micro ruban en Figure 2. Pour ces raisons nous préférons le micro ruban.

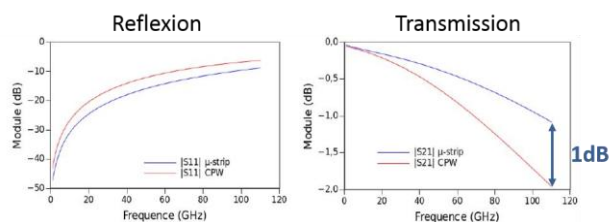


Figure 2 : Simulation de la réflexion et transmission d'accès coplanaire (CPW) en rouge et micro ruban (bleu)

Le composant modulateur-VCSEL avec cet accès est schématisé en Figure 3. Les vias traversant le BCB compliquent le procédé de fabrication mais le couplage signal / substrat est amoindri par le plan de masse qui recouvre ce dernier.

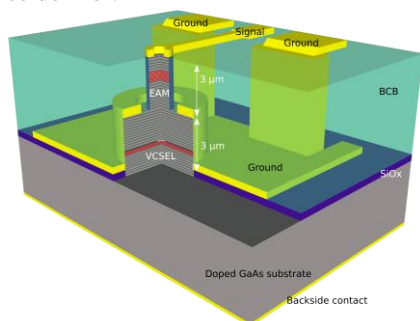


Figure 3 : Schéma 3D du composant Modulateur-VCSEL

Afin de caractériser le comportement du modulateur seul à hautes fréquences, un banc de mesure spécifique a du être mis en œuvre pour permettre d'injecter le signal optique d'analyse verticalement dans d'un modulateur seul à tester et de mesurer la réflexion avec une photodiode rapide

Nous avons donc travaillé sur l'injection optique verticale du laser dans le modulateur et observé en statique la modulation de la puissance injectée.

Pour la caractérisation hyper-fréquence, nous avons opté pour un banc de mesure comprenant un synthétiseur et un analyseur de spectre en sortie de la photodiode. Nous avons mesuré et pris en compte toutes les pertes du système afin de les compenser pour injecter une tension constante aux bornes du modulateur et donc mesurer sa réponse propre sans perte annexe.

De plus, nous avons pris en compte la réponse de la photodiode InGaAs à 850 nm en la mesurant par

battement hétérodyne entre deux lasers monomodes et accordables.

Après avoir considéré tous ces éléments, nous obtenons une fréquence de coupure du modulateur supérieure à 25 GHz (cf Figure 4), limitée par l'instrumentation. La prochaine étape consistera donc à mesurer à nouveau le modulateur avec une photodiode plus rapide et plus sensible à cette longueur d'onde.

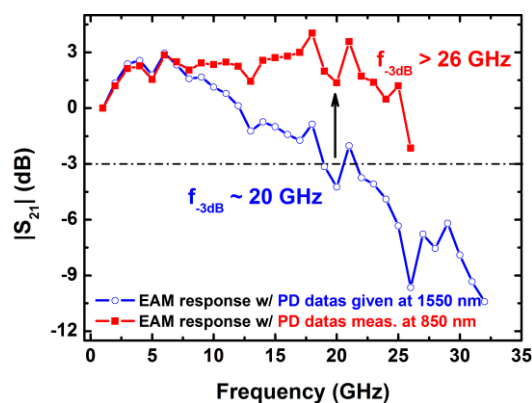


Figure 4 : Caractérisation haute fréquence du modulateur seul avec les données de la photodiode à 1550 nm (bleu) puis mesurées à 850 nm (rouge).

Cette fréquence de 25 GHz a été mesurée pour le modulateur présentant un grand diamètre (27  $\mu\text{m}$ ), nous nous attendons donc à atteindre des fréquences de coupure plus élevées en mesurant des composants de plus petit diamètre étant donné que celle-ci est directement liée à la capacité qui est proportionnelle à la surface.

## 4. CONCLUSIONS

Nous avons démontré l'efficacité du modulateur à électro-absorption à la fois en statique et en hyper-fréquence. Son intégration verticale sur un VCSEL s'avère très concluante et semble permettre d'atteindre des débits très élevés qui en font un candidat idéal pour la future génération de composants pour les communications optiques à très hautes fréquences.

## 4. REFERENCES

- [1] Haglund et al., Electronics Letters, vol. 51, no. 14, p. 1096-1098, 2015.
- [2] Hamad et al. IEEE Journal of Quantum Electronics, 2016, vol. 52, no 7, p. 1-11.
- [3] Gu et al., Appl. Phys. Express 8 , 082702 (2015)
- [4] Chen, Chen, Johnson, Klein L., Hibbs-Brenner, Mary, et al. "Push-pull modulation of a composite-resonator vertical-cavity laser". IEEE Journal of Quantum Electronics, 2010, vol. 46, no 4, p. 438-446
- [5] Germann, et al. physica status solidi (c), 2010, vol. 7, no 10, p. 2552-2554
- [6] Van Eijsden et al., Proc. of SPIE Vol. 6908, 69080M, (2008)
- [7] Marigo-Lombart et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 51 145101 (2018)