

CARACTERISATION DE VOA A BASE DE DIODE P-I-N SUR SILICIUM

Pierre Fanneau, Théo Verolet, Hajar Elfaiki, Joan Manel Ramirez, Alexandre Shen

III-V Lab, a joint lab of Nokia, Thales & CEA, 1 av. A. Fresnel, 91767 Palaiseau Cedex, FRANCE

alexandre.shen@3-5lab.fr

RÉSUMÉ

Nous avons caractérisé des atténuateurs optiques variables (VOA) à base de jonction p-i-n autour d'un guide d'onde en silicium. Le taux d'extinction maximal varie de 35 à 55 dB pour des longueurs allant de 100 μm à 400 μm . Ces VOAs peuvent idéalement réaliser la fonction de commutation optique dans des circuits photoniques intégrés.

MOTS-CLEFS : *photonique silicium, VOA, caractérisation, transmission, atténuation*

1. INTRODUCTION

L'atténuateur optique variable (VOA) est un composant de base en optique intégré qui est utilisé dans une grande variété d'applications, qui vont des circuits photoniques intégrés (PIC) [1] aux « slot-blockers » [2] utilisés dans des routeurs WDM. Cependant, une étude systématique et complète des VOAs reste utile pour ouvrir de nouvelles perspectives d'applications, par exemple, l'intégration potentielle des VOA dans des sources lasers pulsées [3], ou dans des PICs hybrides III-V/Si.

2. STRUCTURE DES VOA

La structure des VOAs étudiés est représentée sur la figure 1. Deux zones rectangulaires sont dopées p et n de part et d'autre d'un guide en silicium large de 400 nm, terminé par deux coupleurs verticaux (CV). La zone non intentionnellement dopée est définie par un espacement de D entre un bord des rectangles dopés et un bord du guide d'onde, comme indiqué sur fig. 1. Trois espacements ont été conçus et réalisés : D = 500, 600 et 700 nm. Des VOA de quatre longueurs effectives différentes (longueur L des zones dopées) ont été fabriquées pour chacun des trois espacements. Ces longueurs varient de 100 μm à 400 μm par pas de 100 μm . Des électrodes permettent de polariser les diodes p-i-n, et d'injecter des porteurs de charges dans la zone intrinsèque. L'atténuation du signal injecté s'effectue grâce à l'effet d'absorption de porteurs libre dans la zone intrinsèque.

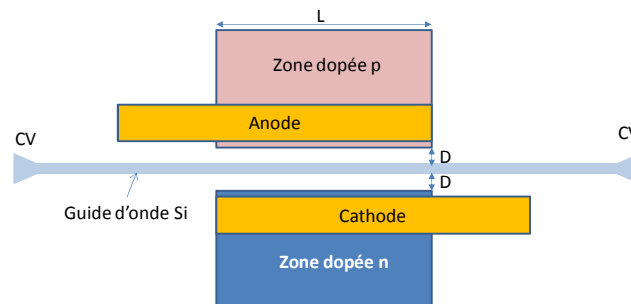


Fig. 1 : Schéma d'un VOA.

3. MONTAGE EXPERIMENTAL

La figure 2 présente le schéma du montage expérimental utilisé pour caractériser les VOAs. Une source laser accordable (bande C) permet de choisir la longueur d'onde injectée dans le VOA. Après un isolateur optique, le signal d'injection est amplifié par un EDFA de puissance (puissance de saturation de 30 dBm), puis filtré avant de passer dans un atténuateur variable qui permet de

contrôler la puissance optique effectivement injectée dans le VOA. Un polariseur optique est nécessaire afin d'aligner la polarisation du signal injecté sur la polarisation propre du coupleur vertical (CV). Le CV en sortie du VOA permet de coupler la lumière ayant traversé le VOA vers des appareils de mesures. Un puissance-mètre est représenté sur la figure 2. Le VOA doit être polarisé par une source de tension (ou une source de courant), représentée par le circuit électrique rouge sur la figure 2.

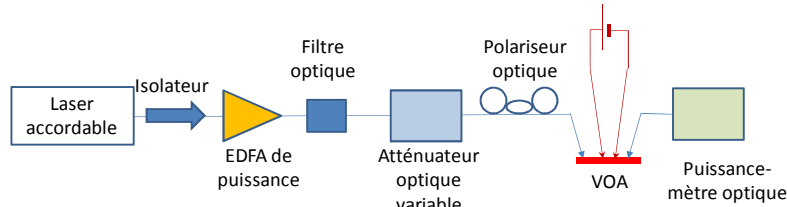


Fig. 2 : Schéma de manip pour la caractérisation des VOAs

4. CARACTERISATION DES VOAs POUR UN NIVEAU D'INJECTION OPTIQUE CONSTANT

La figure 3 présente l'atténuation optique mesurée sur 6 VOA différents. Quatre VOAs ont le même type de zone intrinsèque, l'espacement entre guide Si et zone dopée est de $D = 500$ nm. Deux VOAs longs de $100 \mu\text{m}$ ont des espacements D de 600 nm et 700 nm. Les mesures ont été faites avec une injection optique constante en entrée du VOA. Une source de tension a été utilisée pour polariser le composant testé en direct, avec un balayage de tension entre 0 V et $3,75$ V, convertie en densité de courant sur la figure. Une puissance optique fixée (l'atténuateur variable de la fig.2 n'est pas utilisé ici) d'environ $9,4$ dBm est injectée dans le coupleur vertical en entrée du VOA. La puissance optique est mesurée en sortie du VOA par un puissance-mètre, puis normalisée par rapport à la puissance à 0 V de polarisation. L'atténuation ainsi normalisée est obtenue pour ces 6 types de VOAs.

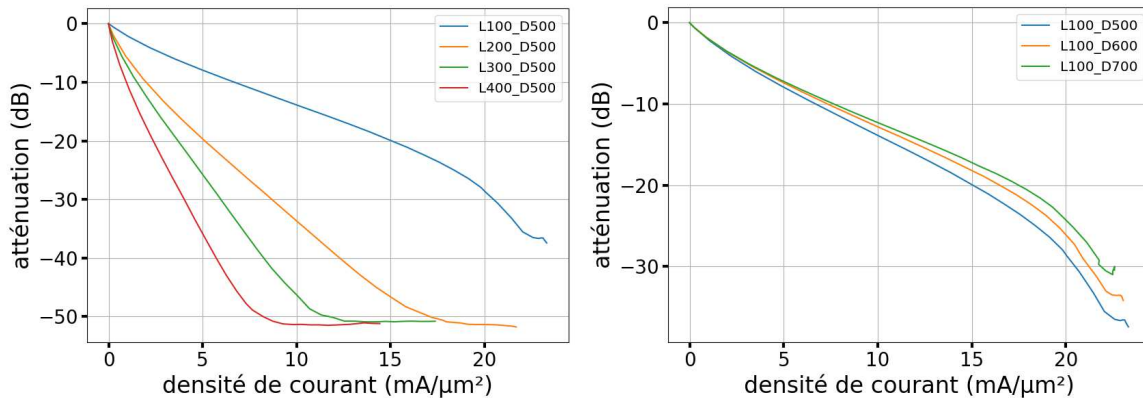


Fig. 3 : Courbes d'atténuation de VOA en fonction de la densité de courant, pour les 4 longueurs de VOA, pour un espacement D de 500 nm (courbes de gauche) ; et pour 3 VOAs longs de $100 \mu\text{m}$, avec un espacement de 500 nm, 600 nm et de 700 nm (courbes de droite).

Pour les 3 VOAs longs de $100 \mu\text{m}$, on constate que l'espacement D de la zone intrinsèque a un impact relativement faible sur l'atténuation. Un écart maximal de 7 dB est observé à 3 V ($\sim 20 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$), la zone intrinsèque la plus resserrée (500 nm) présente la plus forte atténuation (-30 dB à 3 V, correspondant à une densité de courant de $\sim 20 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$).

L'étude comparative entre les 4 VOAs de même type de zone intrinsèque (espacement D de 500 nm), mais de quatre longueurs différentes, montre que 60 dB de taux d'extinction statique est atteint dès que la longueur du VOA dépasse $200 \mu\text{m}$, alors que le VOA long de $100 \mu\text{m}$ atteint une atténuation maximale de 37 dB à plus de 3 V de polarisation.

Ainsi, des VOAs courts ($100 \mu\text{m}$) peuvent être utilisés dans des cavités lasers pour sources impulsionnelles, comme des lasers à commutation de pertes ou des lasers à verrouillage de mode

intégrés III-V/Si, voire pour contrôler la réinjection optique dans une diode laser ; mais des VOAs longs ($>200\text{ }\mu\text{m}$) sont nécessaires pour des applications de commutation optique (switchs optiques dans des « slot-blockers »).

5. CARACTERISATION DES VOAs POUR DIFFERENTS NIVEAUX D'INJECTION OPTIQUE

L'atténuateur variable du montage optique (fig. 2) permet de caractériser l'atténuation des VOA pour différents niveaux d'injection optique. La puissance optique incidente dans le VOA a ainsi pu être variée de $-1,6\text{ dBm}$ à plus de $+15\text{ dBm}$. La figure 4 présente les différentes courbes d'atténuation obtenues en fonction de la densité de courant injectée dans un VOA long de $400\text{ }\mu\text{m}$, avec une zone intrinsèque resserrée ($D=500\text{ nm}$). On constate qu'à faible niveau d'injection optique ($P_{in} = -1,6\text{ dBm}$), pour une densité courant de polarisation donnée ($6\text{ mA}/\mu\text{m}^2$) l'atténuation est de $\sim -40\text{ dB}$. Lorsque la puissance optique s'élève, l'atténuation devient plus importante et atteint -44 dB pour plus de 15 dBm injectée. Cette atténuation supplémentaire peut être attribuée à l'absorption à deux photons, phénomène non-linéaire dans le guide Si.

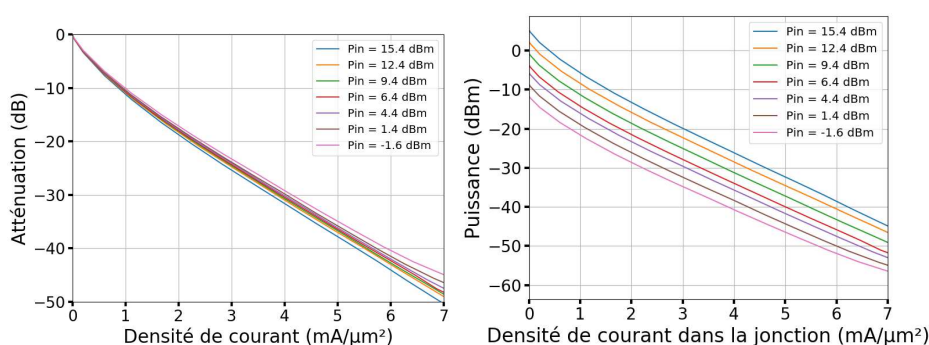


Fig. 4 : Atténuation normalisée (à gauche), et puissance en sortie de VOA couplée dans la fibre (à droite) en fonction du courant injecté, pour différents niveaux de puissance optique injectée, pour un VOA long de $400\text{ }\mu\text{m}$, avec un espacement D de 500 nm .

CONCLUSION

Nous avons caractérisé une série de VOA de longueurs variant de $100\text{ }\mu\text{m}$ à $400\text{ }\mu\text{m}$, ayant une structure de diode p-i-n dont la zone intrinsèque est caractérisée par un espacement de D , variant de 500 nm à 700 nm , entre le guide Si du VOA et les zones dopées. Nous avons montré que des VOAs courts permettent déjà une atténuation atteignant 30 dB , valeur suffisante pour des applications de portes optiques dans des cavités lasers (Q-switch, verrouillage de modes). Nous avons mis en œuvre une caractérisation tout optique des VOA et observé une atténuation supplémentaire aux fortes puissances injectées, que nous attribuons à l'absorption à deux photons, phénomène non linéaire qui peut perturber le fonctionnement de laser hybride III-V sur silicium. Nous continuons la caractérisation complète des VOAs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article voudraient remercier leurs collègues du CEA LETI (Stéphane Malhouître et Jean-Marc Fedeli) qui avaient fabriqué ces composants dans le cadre du projet Celtic SASER ; ainsi que Dr Mohand Achouche pour avoir soutenu ces travaux au III-V Lab.

RÉFÉRENCES

- [1] R. Nagarajan et al., "Large-Scale Photonic Integrated Circuits", I3E JSTQE, vol. 11, No. 1, 2005, pp. 50-65.
- [2] G. de Valicourt et al., "Monolithic Integrated Slot-Blocker for High Data-rate Coherent Optical slot switched networks", Journal of Light. Techn., Vol. 34, Iss. 8, 2016, pp. 1807 – 1814.
- [3] A. Shen et al., "Low timing jitter of Gain- and Q-Switched laser diodes for high bitrate OTDM applications", IE2 Electronics Letters, Vol. 33, No. 22, 1997, pp.1875-1877