

PACKAGING OPTIMIZATION OF AND ELECTRO-OPTICAL MODULATOR FOR HIGH DATA-RATE COMMUNICATIONS

SAMUEL NGOHO¹, KAMEL FRIGUI¹, STÉPHANE BILA¹, BOUCHRA FRIGUI²,
DELPHINE MARRIS-MORINI³, LAURENT VIVIEN³, ALEXANDRE MOTTET⁴,
JÉRÔME HAUDEN⁴, STÉPHANE BERNABE⁵, BENJAMIN BLAMPLEY⁵,
GABRIEL CHARLET⁶

¹ XLIM UMR 7252, Université de Limoges/CNRS, 123 Av. Thomas, 87060 Limoges, France

² CISTEME, Technopole ESTER, 12 Rue Gémini, 87060 Limoges, France

³ IEF UMR 8622, Univ.Paris-Sud/CNRS, Rue Ampère, 91405 Orsay, France

⁴ PhotLine Technologies, 16 Rue Jouchoux, 25000 Besançon, France

⁵ CEA leti MINATEC Campus, 17 rue des martyrs, F-38054 Grenoble Cedex, France

⁶ ALCATEL-LUCENT Bell Labs, Centre de Villarceaux Route de Villejust, 91620 Nozay, France

Abstract : This paper presents a measured electro-optical silicon modulator based on carrier depletion in a PN junction and electromagnetics simulations for optimizing its behavior. It also reports on the packaging of the modulator, specifically, both the input and output circuits which allow connecting in one hand the driver and then the load for RF matching.

Keywords : Packaging, electro-optical modulator, multiphysical modeling, PN junction on silicon.

1. INTRODUCTION

Les modulateurs électro-optiques sont des composants-clés pour les systèmes de communications optiques à très haut débit. Afin d'optimiser les performances du circuit intégré dans le système, il est important de prendre en compte son environnement électrique et de regarder son fonctionnement global. Ainsi, ce papier présente les mesures effectuées sur un modulateur électro-optique en silicium, à déplétion de porteurs grâce à une jonction PN. Les mesures du composant mettent en évidence des pics dans sa réponse en fréquence. Une modélisation électromagnétique du composant permet d'identifier des phénomènes de résonance, de proposer une solution pour optimiser son comportement et prendre en compte son environnement avec les circuits RF d'entrée et de sortie.

2. CARACTÉRISATION DU MODULATEUR

Le principe de fonctionnement d'un modulateur électro-optique consiste à agir électriquement sur les propriétés optiques d'un guide d'onde optique [1], formé par exemple dans du silicium. Le modulateur présenté sur la

figure 1 comporte une jonction PN. L'effet du champ électrique sur le coefficient d'absorption ou de réfraction est alors renforcé grâce à la variation de la densité des porteurs de charges libres lorsque la jonction est polarisée.

Le modulateur est constitué d'une partie non dopée qui permet d'adapter les électrodes RF du modulateur, et d'une partie dopée qui contient une jonction PN latérale.

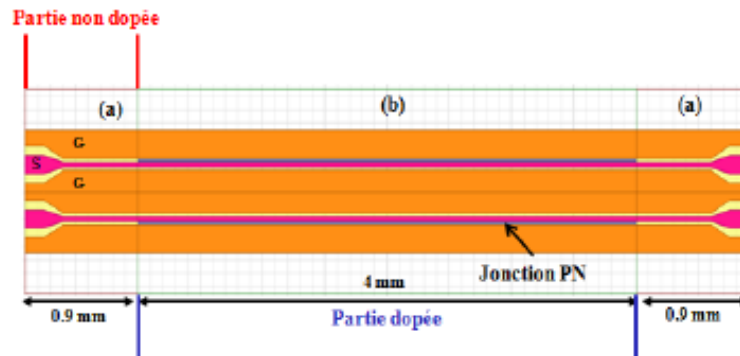


Fig. 1. Modulateur électro-optique à jonction PN.

Le modulateur a été fabriqué et caractérisé. Les paramètres S (réflexion et transmission) du composant sont présentés sur la figure 2, pour une tension de polarisation nulle.

On constate notamment sur la réponse en transmission, l'apparition de pics qui limitent la bande passante du modulateur.

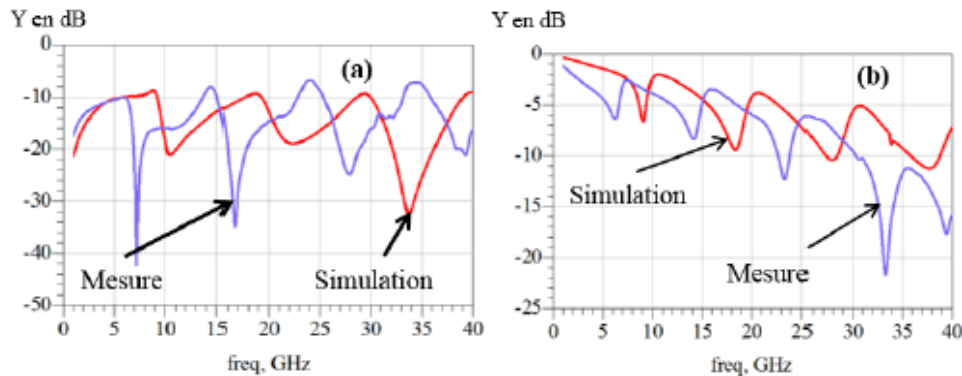


Fig. 2. Comparaison entre mesures et simulations (a) réflexion, (b) transmission.

3. MODÉLISATION DU COMPORTEMENT PARASITE

Pour comprendre l'origine de ces pics de transmission, une modélisation électromagnétique du composant a été effectuée. La jonction PN est alors représentée par une surface caractérisée par la résistance (R) et la capacité (C) équivalentes de la jonction. Les lignes coplanaires supportent le signal RF qui module le signal optique dans le guide optique situé au niveau de la jonction. La modélisation montre les phénomènes apparus en mesures comme présenté sur la figure 2.

Les pics sont dus à un mode parasite (impair) qui se couple au mode normal (pair) des lignes RF coplanaires [2]. La jonction PN est présente d'un côté seulement de la ligne de signal, ce qui crée une dissymétrie qui est à l'origine du couplage du mode parasite. La première solution consiste à symétriser la jonction PN de part et d'autre de la ligne de signal comme décrit sur la figure 3 (a). Cependant comme montré sur la figure 4, cette solution conduit à un niveau de pertes important. La seconde solution, qui a été retenue, consiste à relier les masses RF par des fils de bonding comme présenté sur la figure 3 (b). Pour le modulateur de longueur 4 mm de la partie dopée, 8 fils de bonding ont été positionnés pour repousser les résonances parasites au-delà de la bande

de fonctionnement du modulateur (de 0 à 40 GHz). La figure 4 montre que cette solution permet de supprimer efficacement le phénomène de résonance parasite sans affecter les pertes.

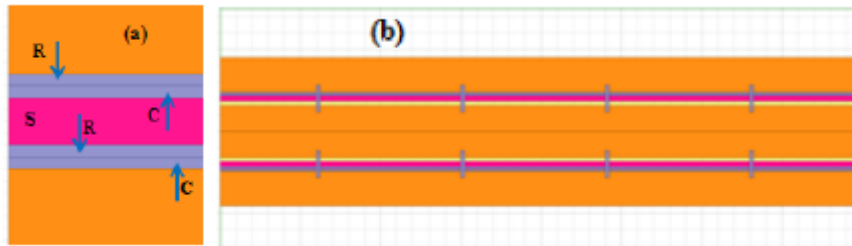


Fig. 3. (a) Solution 1: symétrisation de la jonction PN, (b) Solution 2: positionnement de bondings.

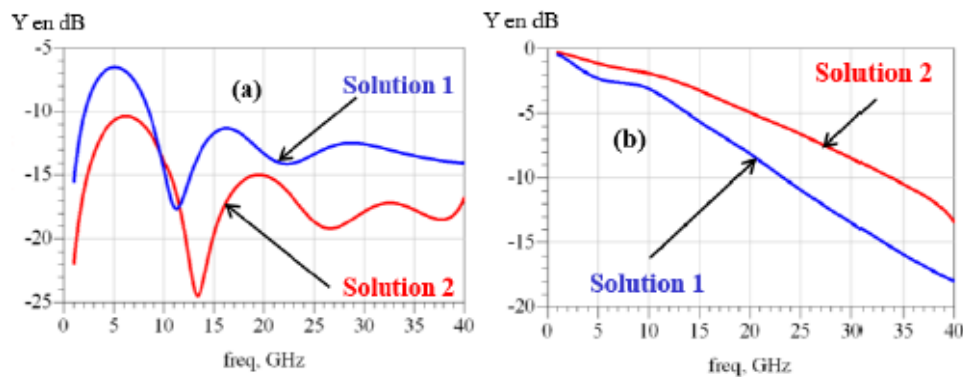


Fig. 4. Comparaison entre solution 1 et 2. (a) Réflexion, (b) Transmission.

4. PACKAGING DU MODULATEUR

Pour exciter le modulateur, un circuit d'entrée composé de lignes RF coplanaires est modélisé. Il doit réaliser une fonction d'adaptation par rapport à l'impédance d'entrée du modulateur. Le circuit de sortie permet d'adapter les charges au modulateur. Le substrat utilisé pour les deux circuits est l'Alumine. Les différentes entrées doivent également être en phase les unes avec les autres. Les performances attendues en termes d'adaptation sont les suivantes : $S_{11} < -15\text{dB}$ sur la bande $[0 - 15 \text{ GHz}]$ et $S_{11} < -10\text{dB}$ sur la bande $[15 - 30 \text{ GHz}]$. La figure 5 montre le packaging entre le modulateur, le circuit d'entrée et le circuit de sortie.

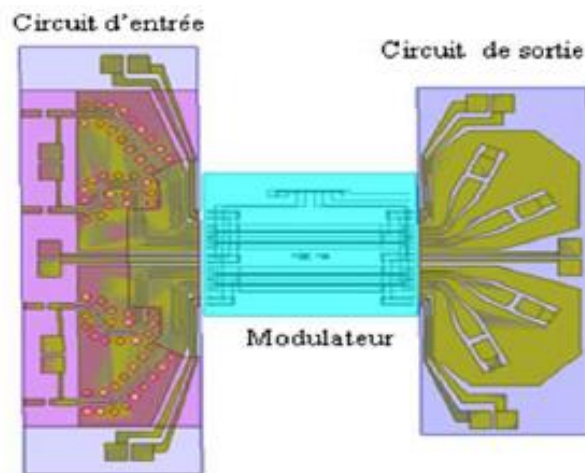


Fig. 5. Packaging du modulateur électro-optique (Modèle)

Considérant la solution 2 (positionnement des fils bondings) le modulateur a été fabriqué et packagé comme montré sur la figure 6.

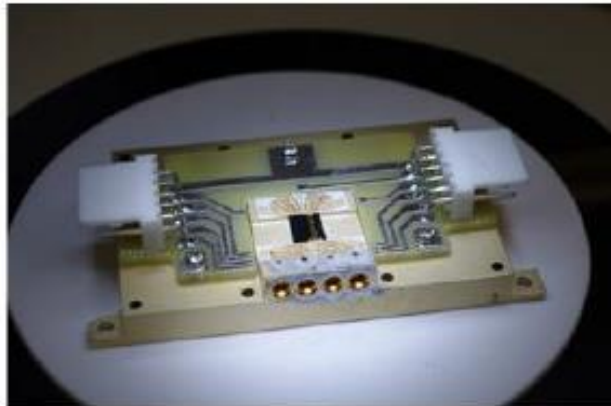


Fig. 6. Packaging du modulateur électro-optique (prototype)

La figure 7 montre que les simulations électromagnétiques correspondent aux mesures du modulateur packagé. Cependant, le packaging n'est pas optimisé. En effet, les impédances entre le circuit d'entrée, le modulateur et le circuit de sortie ne correspondent pas. Ceci est dû à l'impédance du modulateur (partie dopée) qui ne correspond pas à l'impédance des circuits d'entrée et de sortie. L'insertion de la jonction diminue considérablement l'impédance caractéristique des lignes RF du modulateur, créant une désadaptation d'impédance entre la partie dopée et la partie non dopée du modulateur. La solution proposée consiste à modifier la géométrie de la partie non dopée de façon à retrouver sensiblement l'impédance caractéristique de la partie dopée. La figure 8 présente la partie non dopée avant et après l'optimisation.

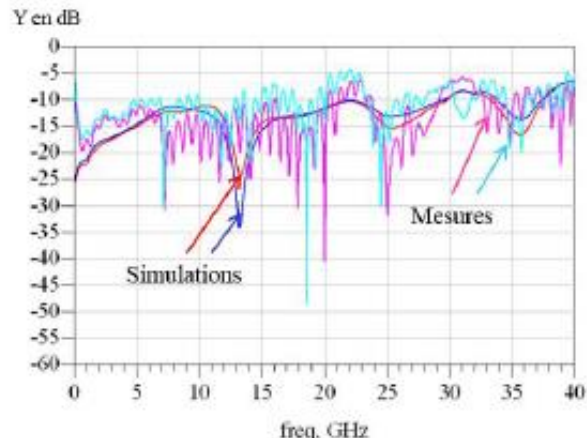


Fig. 7. Simulations VS Mesures (Rélflexion)

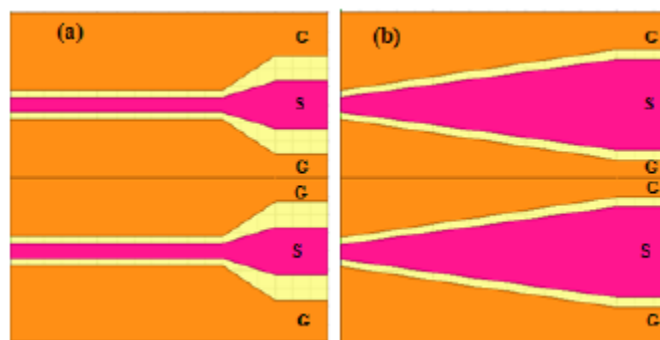


Fig. 8. Partie non dopée. (a) Avant optimisation, (b) après optimisation.

Nous avons dans un premier temps modélisé chaque élément de la chaîne (aluminés d'entrée /sortie et le modulateur) à l'aide du logiciel HFSS d'ANSOFT. Ensuite, nous avons effectué le chaînage de l'ensemble sous le logiciel ADS d'Agilent en intégrant les éléments de connexion (fils de bonding) et de découplage (capacités).

L'optimisation des circuits d'entrée/sortie a porté sur les longueurs et les largeurs des lignes. Les résultats sont présentés sur la figure 9.

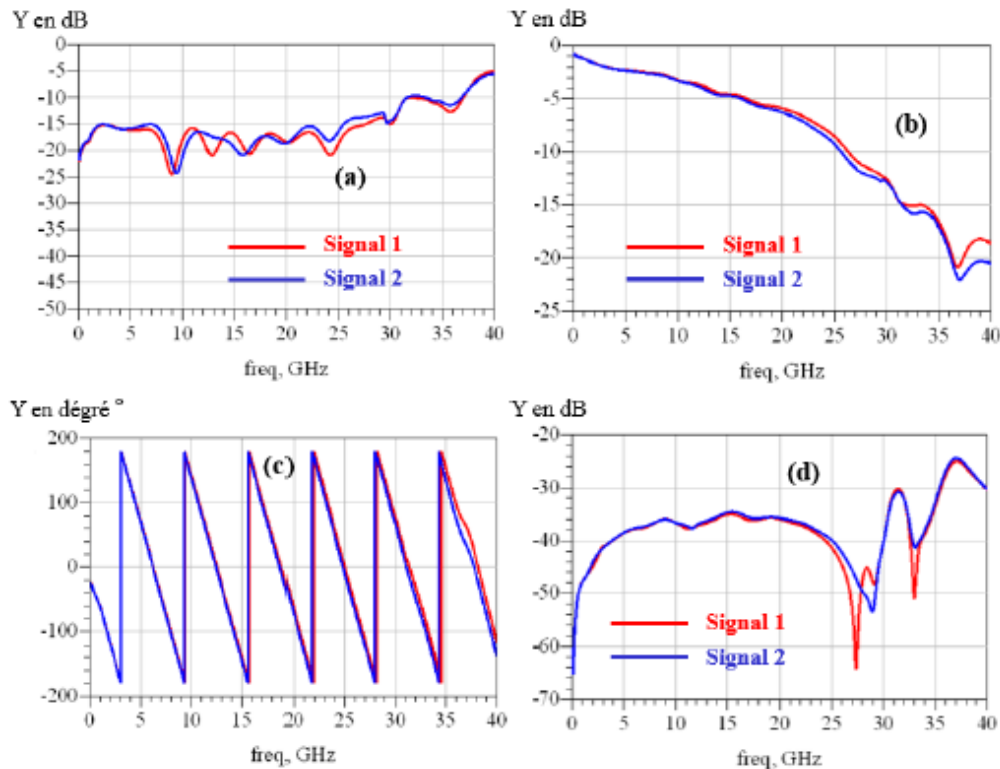


Fig. 9. Paramètres S. (a) réflexion en dB; (b) transmission en dB, (c) transmission en deg (phases), (d) couplage en dB.

On peut noter que les performances en termes de réflexion sont atteintes. Les pertes en transmission s'élèvent à 14dB à 30GHz. Les lignes sont en phase et le couplage entre les lignes est inférieur à 20dB.

5. CONCLUSION

Ce papier présente les mesures d'un modulateur électro-optique et la mise en évidence du phénomène grâce à une modélisation électromagnétique du composant. Grâce à ce modèle, une solution a été proposée pour optimiser le comportement du composant dans sa bande de fonctionnement. Enfin, le fonctionnement global du modulateur, prenant en compte les circuits d'entrée et de sortie, a été analysé et optimisé. Les résultats obtenus montrent que les performances requises pour un système de communications à haut débit ont été atteintes.

Ce travail est soutenu par le projet ANR INFRA ULTIMATE

RÉFÉRENCES

- [1] Melissa Ziebell, Delphine Marris-Morini, Gilles Rasigade, Paul Crosat, Jean-Marc Fédéli, Philippe Grosse, Eric Cassan, Laurent Vivien, "10 Gbit/s ring resonator silicon modulator based on interdigitated PN junctions", Optics Express, Vol 19 (15), pp 14690 – 14695
- [2] Hao Xu, Xianyao Li, Xi Xiao, Zhiyong Li, Yude Yu, Jinzhong Yu "Demonstration and characterization of high-speed silicon depletion-mode Mach-Zehnder modulators", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 20 (4), July/August 2014.