



HAL
open science

Génération de peignes de fréquences électro-optiques avec planéité optimisée dans un modulateur à microrésonateur en anneau en silicium

Erwan Weckenmann, Thyago Monteiro, Francesco da Ros, Uiara Celine de Moura, Laurent Bramerie, Mathilde Gay, Diego Pérez-Galacho, Lucas Deniel, Delphine Marris-Morini, Frédéric Boeuf, et al.

► To cite this version:

Erwan Weckenmann, Thyago Monteiro, Francesco da Ros, Uiara Celine de Moura, Laurent Bramerie, et al.. Génération de peignes de fréquences électro-optiques avec planéité optimisée dans un modulateur à microrésonateur en anneau en silicium. Journée du Club Optique et Micro-ondes (JCOM 2023), Club Optique Micro-ondes de la Société Française d'Optique, Jun 2023, Online, France. hal-04165506

HAL Id: hal-04165506

<https://hal.science/hal-04165506v1>

Submitted on 19 Jul 2023

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.

Génération de peignes de fréquences électro-optiques avec planéité optimisée dans un modulateur à micro-résonateur en anneau en silicium

E. Weckenmann¹, T. Monteiro², F. Da Ros², U. C. De Moura², L. Bramerie¹,
M. Gay¹, D. Pérez-Galacho³, L. Deniel³, D. Marris-Morini³, F. Bœuf⁴, D. Zibar², C. Peucheret¹

¹Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON – UMR 6082, 22305 Lannion, France

²Department of Electrical and Photonics Engineering, Technical University of Denmark, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark

³Université Paris-Saclay, CNRS, Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, 91120 Palaiseau, France

⁴ST Microelectronics, 850 rue Jean Monnet, 38920 Crolles, France

Les peignes de fréquences optiques sont étudiés pour de nombreuses applications, notamment en spectroscopie, en métrologie, en photonique micro-ondes ou en communications optiques [1]. Selon le nombre de lignes, l'espacement entre les lignes, leurs puissances ou encore la longueur d'onde centrale, différents procédés optimaux peuvent être mis en œuvre pour générer de tels peignes, adaptés à des applications spécifiques. Les peignes de fréquences électro-optiques générés par des modulateurs intégrés sont intéressants par leur accordabilité en termes d'espacement entre les lignes et de longueur d'onde centrale [2]. En communications optiques, ces peignes permettent de réaliser des sources multi-longueurs d'onde à partir d'un seul laser. D'autres applications se concentrent plutôt sur le contrôle de l'enveloppe du peigne pour former des trains d'impulsions particuliers comme des impulsions de Nyquist.

Parmi les solutions technologiques adaptées à ces applications, la photonique sur silicium s'impose comme un choix particulièrement intéressant par sa compatibilité avec les procédés de fabrication CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) de la micro-électronique industrielle. La compacité et l'efficacité de modulation des modulateurs à micro-résonateur en anneau (RRM) les rend attractifs pour la synthèse de peignes électro-optiques [3-5]. Cependant le nombre de lignes obtenu, pour un rapport de puissance acceptable de quelques dB, demeure jusqu'à maintenant modeste.

Nous présentons dans ces travaux une optimisation de la planéité des peignes de fréquences électro-optiques générés dans un RRM en silicium basé sur un déphaseur à déplétion de porteurs. Cette optimisation est réalisée à l'aide d'un algorithme à évolution différentielle couplé à un modèle décrivant le comportement dynamique du modulateur.

Le RRM utilisé a un rayon de 20 μm et un facteur de qualité de 3×10^4 en l'absence de tension appliquée. Le modèle de [6] est implémenté afin de calculer le champ électrique en sortie du RRM sans aucune approximation sur la tension électrique de commande et en considérant les modulations de phase et d'absorption présentes dans le silicium dopé. La tension de modulation comprenant trois harmoniques, de fréquence fondamentale f_m , est définie comme

$$V(t) = V_{DC} + V_1 \sin(2\pi f_m t + \phi_1) + V_2 \sin(4\pi f_m t + \phi_2) + V_3 \sin(6\pi f_m t) \quad (1)$$

Afin d'identifier le signal de commande optimal, un algorithme à évolution différentielle [7] est utilisé pour prédire les paramètres $V_1, V_2, V_3, \phi_1, \phi_2$ de chaque harmonique, ainsi que la tension continue V_{DC} permettant de rester en régime de déplétion de porteurs. Le désaccord entre la longueur d'onde de la source et celle de la résonance, ainsi que la fréquence fondamentale de modulation f_m font également partie des paramètres d'optimisation. Pour définir le caractère optimal du peigne, le rapport de puissance δ est calculé pour un nombre défini de lignes. En utilisant cet algorithme d'optimisation avec le modèle implémenté, nous avons alors un signal optimal prédit pour 9 lignes espacées de 1 GHz avec un rapport de puissance de $\delta = 6.8$ dB. Le spectre et la tension correspondante calculés sont représentés sur la figure 1.

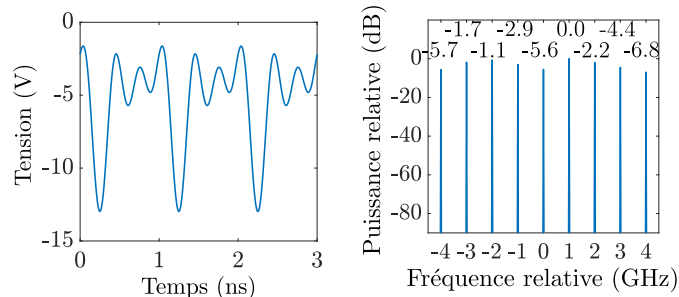


Figure 1. Tension de modulation et spectre optique calculés pour une optimisation sur 9 lignes.

Afin d'appliquer de manière expérimentale la tension de modulation optimale ainsi déterminée, nous utilisons un générateur de fonctions arbitraires (AWG) échantillonnant à 24 GS/s et avec une résolution de 10 bits. Le spectre de l'onde optique modulée est mesuré avec un analyseur de spectre optique de 5 MHz de résolution. L'amplitude crête-à-crête totale de la tension de modulation étant limitée à 6.4 V par le gain du driver en sortie de l'AWG, un rapport de puissance plus grand que celui calculé est attendu, en plus du fait que les imperfections du modèle peuvent résulter en des peignes prédits légèrement différents de ceux mesurés. C'est pourquoi une optimisation manuelle sur la fréquence fondamentale ainsi que sur le désaccord en longueur d'onde est réalisée ultérieurement. Finalement, un rapport de puissance de $\delta = 5.4$ dB est obtenu sur 9 lignes avec un espacement de $f_m = 500$ MHz. Le spectre mesuré est représenté sur la figure 2.

Ces résultats démontrent l'efficacité de la superposition d'harmoniques et de la méthode d'optimisation qui a été utilisée pour la première fois sur ce type de modulateur. A terme, ces résultats pourront être reproduits sur des RRM ayant de plus grandes bandes passantes afin d'atteindre des taux de répétition de l'ordre de la dizaine de GHz.

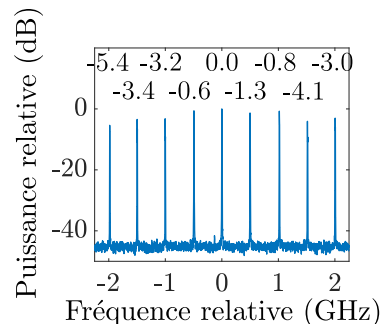


Figure 2. Spectre optique mesuré après optimisation manuelle.

Références :

- [1] S. A. Diddams, K. Vahala et T. Udem, "Optical frequency combs: Coherently uniting the electromagnetic spectrum," *Science* 369, (2020)
- [2] V. Torres-Company et A. M. Weiner, "Optical frequency comb technology for ultra-broadband radio-frequency photonics," *Laser Photon. Rev.* 8, 368 (2014)
- [3] X. Wu et H. K. Tsang, "Flat-top frequency comb generation with silicon microring modulator and filter," *Conference on Lasers and Electro-Optics, SM4O.6* (2017)
- [4] K. P. Nagarjun, P. Raj, V. Jeyaselvan, S. K. Selvaraja et V. R. Supradeepa, "Microwave power induced resonance shifting of silicon ring modulators for continuously tunable, bandwidth scaled frequency combs," *Opt. Express* 28, 13032 (2020)
- [5] I. Demtzioglou et al., "Frequency comb generation in a silicon ring resonator modulator," *Opt. Express* 26, 790 (2018).
- [6] W. D. Sacher et J. K. S. Poon, "Dynamics of microring resonator modulators," *Opt. Express* 16, 15741 (2008)
- [7] R. Storn et K. Price, "Differential evolution – A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces," *J. Global Optimization* 11, 341 (1997)