EFFICACITÉ ET GAIN DE COHÉRENCE DE L'OSCILLATEUR PARAMÉTRIQUE OPTIQUE CONTRAPROPAGATIF, PRÉSENTANT DES DÉFAUTS DE PÉRIODICITÉ, EN FONCTION DE LA LARGEUR DE BANDE D'UNE POMPE STOCHASTIQUE

Carlos Montes, Bernard Gay-Para, Pierre Aschieri et Marc De Micheli

Université Nice Sophia Antipolis, Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, UMR CNRS 7336, Parc Valrose, 06100 NICE CEDEX, France

carlos.montes@unice.fr

RÉSUMÉ

L'oscillateur paramétrique optique contrapropagatif en absence de miroirs extérieurs, pompé par des impulsions incohérentes, génère une onde signal contrapropagative cohérente et une onde idler copropagative absorbant l'incohérence de la pompe. La polarisation périodique nanométrique de la susceptibilité non linéaire requise pour l'accord de phase (de période $\Lambda_{QPM} = 335$ nm) est obtenue par épitaxie dans un guide d'ondes de GaN. Nous montrons ici que l'efficacité du processus de transfert de cohérence à l'onde signal contrapropagative, sensible aux défaults de périodicité susceptibles d'apparaître pendant la fabrication, se réduit de moitié pour des défaults de périodicité inférieurs à $\Lambda_{QPM}/4$, tout en conservant un gain de cohérence de presque trois ordres de grandeur.

MOTS-CLEFS : *transfert de cohérence; oscillateur paramétrique optique; rétrodiffusion stimulée; défaults de périodicité.*

1. INTRODUCTION

Dans les interactions paramétriques contrapropagatives à trois ondes où les ondes signal et idler se propagent en direction opposée, il s'établit un mécanisme de rétroaction distribuée donnant lieu à une oscillation paramétrique optique en absence de miroirs extérieurs. Un tel MOPO ("mirrorless optical parametric oscillator") a été réalisé experimentalement dans un cristal de KTP polarisé périodiquement avec une périodicité de 800 nm [1]. Une propriété remarquable est la grande asymétrie spectrale des impulsions signal et idler contrapropagatives : la largeur spectrale de l'onde copropagative à la pompe est du même ordre que celle-ci, tandis que celle de l'onde contrapropagative est caractérisée par une largeur spectrale inférieure d'au moins deux ordres de grandeur [2, 3].

Afin d'optimiser le tranfert de cohérence d'une pompe stochastique vers l'onde signal contrapropagative, nous étudions un tel MOPO dans la configuration de l'onde signal contrapropagative ("backward") que nous appellerons BMOPO, où on peut réaliser le meilleur accord de vitesse de groupe des deux ondes pompe et idler copropagatives. Les contraintes d'accord de phase très strictes pour réaliser des composants parfaitement accordables posent un défi technologique : la polarisation périodique (PP) de taille nanométrique requise pour l'accord de phase ne peut se réaliser actuellement que dans des guides asymétriques planaires de GaN obtenues par croissance épitaxiale [4, 5]. Cependant, pour réaliser des périodes aussi courtes, il faut passer par une phase de lithographie électronique qui offre un champ d'écriture de 100 μm. Pour faire des structures plus longues, il faut donc associer des motifs de 100 μm de long ce qui peut faire apparaître des défaults de périodicité ("stitching faults").

Dans ce papier nous allons étudier des BMOPOs composés d'une série juxtaposée de segments polarisés périodiquement, chacun d'une centaine de microns de longueur, afin d'obtenir la longueur centimétrique requise pour dépasser le seuil d'oscillation [6]. Les structures quadratiques basées sur le principe de "quasi-phase matching" (QPM) sont très sensibles aux défaults de périodicité qui peuvent apparaître à la jointure de deux segments (cf. fig.1). Il est connu que le gain obtenu dans une longueur d'interaction non linéaire polarisée périodiquement de façon régulière, peut être inversé s'il intervient

un seul défaut de périodicité mesurant la moitié de la période d'accord de phase Λ_{QPM} [7]. L'enjeu expérimental pour une structure fractionnée est très strict, car les défauts de phase des joints doivent être inférieurs à π, cette phase correspondant à l'inversion complète du processus de gain.

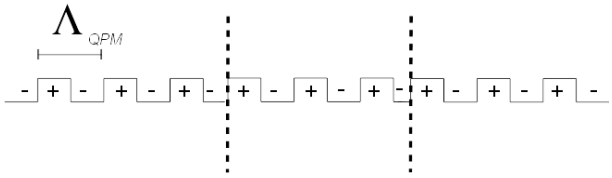

FIG. 1 : Le quasi-accord de phase (QPM) est obtenu par la séquence d'inversion de la polarisation du cristal avec une périodicité du réseau Λ_{QPM}. Le BMOPO segmenté est composé d'une juxtaposition de segments polarisés périodiquement avec des jonctions de longueur aléatoire créant des perturbations de phase $\delta\phi_m(x)$ (m=1,N-1) avec N=64. Elles sont distribuées aléatoirement dans l'intervale $(0,\pi/p)$), où $p \geq 2$ assure la non inversion du processus paramétrique qui a lieu pour $p = 1$.

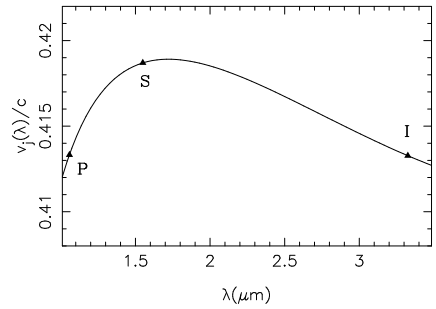

FIG. 2 : Vitesse de groupe pour les ondes polarisées en *z* dans le GaN en fonction de la longueur d'ondes, calculée par le développement de Sellmeier dans [5] avec un profil particulier de l'indice de réfraction du guide [8]. Les triangles marquent la configuration d'accord de phase où les vitesses de groupe de la pompe et de l'idler sont identiques ($|v_p - v_i| = 0$), étiquettées **P** pour la pompe, **S** pour le signal contrapropagatif et **I** pour l'idler.

Nous comparons ici un dispositif composé de 64 segments, présentant des défaults de périodicité, au BMOPO continu de longueur L=1.25 cm, polarisée périodiquement, et nous constatons par simulation numérique des équations de QPM à trois ondes que l'efficacité diminue de 8%, 26% et 51% pour de séries de déphasages aléatoires dont l'amplitude maximum atteint respectivement $\pi/4$, $\pi/3$ et $\pi/2$ (cf. fig.3). Cette dernière structure d'efficacité moitié correspond à un défaut maximum de 83 nm tenant compte que $\Lambda_{QPM} = 335$ nm, pour la triade de longueurs d'onde en accord de phase dans le GaN suivante : pompe $\lambda_p = 1.06$ μm, signal contrapropagatif $\lambda_s = 1.56$ μm et idler (ou complémentaire) copropagatif $\lambda_i = 3.29$ μm (cf figure 2).

Les calculs ont été faits grâce aux facilités du Centre de Calcul Performant (HPC) de l'Université de Nice, et nous avons étudié l'efficacité d'un tel processus paramétrique pour une pompe stochastique dans une large bande de fréquence [0.08 GHz - 6.0 THz] [9].

Il est remarquable de constater que même pour la structure segmentée présentant de défaults de phase maximum de $\pi/2$, le gain de cohérence est encore de presque trois ordres de grandeur. En effet, la figure 4 montre les spectres des trois ondes pour une pompe stochastique de largeur de bande $\Delta\nu_p(0) =$ 4.36 THz, où $\Delta\nu_p(L) = 4.54$ THz, $\Delta\nu_s(0) = 9.72$ GHz et $\Delta\nu_i(L) = 4.62$ THz. Le gain de cohérence est $\Delta\nu_p(L)/\Delta\nu_s(0) = 467$.

RÉFÉRENCES

[1] C. Canalias, V. Pasiskevicius, "Mirrorless optical parametric oscillator", *Nature Photon.* vol. 1, pp. 459-462, 2007.

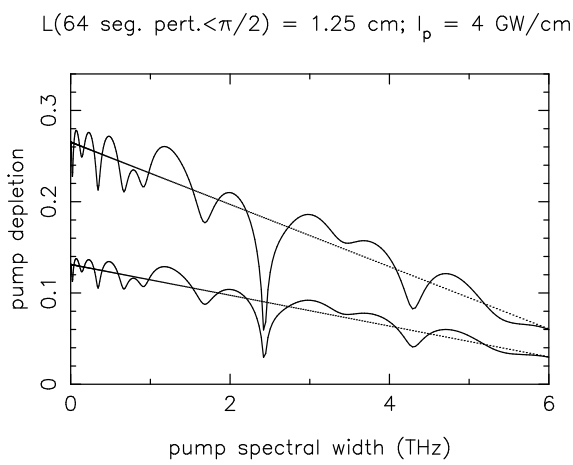

FIG. 3 : Modèle QPM : Dépletion de la pompe $1-I_p(L)/I_p(0)$ ou efficacité de conversion paramétrique en fonction de la largeur spectrale des impulsions pompe stochastiques. La courbe supérieure correspond à la structure continue PP et la courbe inférieure au BMOPO de 64 segments PP présentant des défaults de périodicité inférieurs à $\pi/2$ et une efficacité relative de 49%. Les ajustements linéaires visualisent bien la moyenne sur plusieurs réalisations.

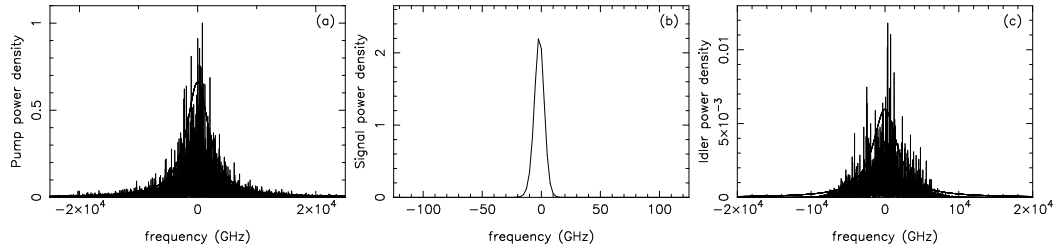

FIG. 4 : Spectres du BMOPO de 64 segments et perturbation maximum $\delta\phi_m(x) = \pi/2$ pour une pompe stochastique de largeur a mi-hauteur $\Delta\nu_p(0) = 4.36$ THz : (a) Pompe transmise d'ajustement Gaussien $\Delta\nu_p(\mathrm{L}) = 4.54$ THz, (b) spectre signal contrapropagatif cohérent $\Delta\nu_s(0) = 9.72$ GHz, et (c) spectre idler copropagatif absorbant l'incohérence de la pompe $\Delta\nu_i(\mathrm{L}) = 4.62$ THz. Le gain de cohérence atteint $\Delta\nu_p/\Delta\nu_s = 467$, pour une dépletion ou efficacité de 0.0759.

[2] G. Stromqvist, V. Pasiskevicius, C. Canalias and C. Montes, "Coherent phase-modulation transfer in counterpropagating parametric down-conversion", *Phys. Rev. A* vol. 84, pp. 023825, 2011.

[3] G. Stromqvist, V. Pasiskevicius, C. Canalias, P. Aschieri, A. Picozzi, and C. Montes, "Temporal coherence in mirrorless optical parametric oscillators", *J. Opt. Soc. Am. B* vol. 29, num.6, pp. 0740-3224/12/061194-09, 2012.

[4] S. Pezzagna, P. Vennéguès, N. Grandjean, A.D. Wieck, and J. Massies, "Submicron periodic poling and chemical pattering of GaN", *Appl. Phys. Lett.* vol. 81, pp. 062106, 2005.

[5] S. Pezzagna, J. Brault, M. Leroux, J. Massies, and M. de Micheli, "Refractive indices and elasto-optic coefficients of GaN studied by optical waveguiding", *J. Appl. Phys.* vol. 103, pp. 123112-1-7, 2008.

[6] C. Montes, P. Aschieri and M. De-Micheli. "Backward optical parametric efficiency in quasi-phase-matched GaN waveguide presenting stitching faults", *Opt. Lett.* vol. 38, pp. 2083-2085, 2013.

[7] K. Gallo and G. Assanto, "All-optical diode based on second-harmonic generation in an asymmetric waveguide", *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 16, 267-269 (1999).

[8] A. Picozzi and P. Aschieri, "Influence of dispersion on the resonant interaction between three incoherent waves", Phys. Rev. E vol. 72, 046606-1-12 (2005).

[9] C. Montes, B. Gay-Para, P. Aschieri and M. De-Micheli "Mirrorless optical parametric oscillators with stitching faults : Backward downconversion efficiency and coherence gain versus stochastic pump bandwidth", *J. Opt. Soc. Am. B*, soumis pour publication.