

ETUDE DES MECANISMES DE CONVERSION PARAMETRIQUE OPTIQUE DANS LES CRISTAUX PHOTONIQUES NON LINEAIRES (PPLT(LN)-2D)

H. Chikh-Touami^{1,2}, M. Lazoul², K. Ladour², A. Boudrioua¹, L. M. Simohamed², L. -H. Peng³
et A. Fischer¹

¹ LPL - UMR CNRS 7538, Université Paris 13, 93430 Villetaneuse, France

² LSEO, Ecole Militaire Polytechnique, BP 17 Bordj Elbahri 16111, Alger, Algérie

³ Graduate Institut of Photonics and Optoelectronics, NTU, Taipei, 106, Taiwan

hocine_ct@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude de la gestion du gain paramétrique optique dans les cristaux photoniques non linéaires. Une étude numérique a permis de comprendre la contribution des vecteurs de réseau réciproque \mathbf{k}_{mn} pour chaque type de réseau. Elle montre également qu'il est possible de jouer sur l'efficacité finale par la mise à contribution, simultanément, de plusieurs vecteurs du réseau réciproque. Les résultats expérimentaux préliminaires ont permis de déterminer l'efficacité de conversion paramétrique pour un CPNL PPLT -2D.

MOTS-CLEFS : *Gain paramétrique optique, cristaux photoniques non linéaires, génération paramétrique optique, PPLT-2D.*

1. INTRODUCTION

Les cristaux photoniques non linéaires quadratiques (CPNL) ont été proposés, pour la première fois par V. Berger en 1998 comme une généralisation à deux dimensions du concept des cristaux non linéaires périodiquement polarisés [1]. Dans ce cas, la susceptibilité non linéaire d'ordre deux est inversée périodiquement dans les deux directions du plan, selon un motif particulier. La grande flexibilité du quasi-accord de phase dans ces réseaux 2D demeure leur grand intérêt [2]. Ce type de réseaux bidimensionnel permet de satisfaire simultanément plusieurs quasi-accords de phases non colinéaires correspondant à des processus non linéaires différents. Par ailleurs, l'efficacité de la conversion paramétrique des CPNL est relativement réduite comparativement au cas unidimensionnel [3]. Cependant, plusieurs vecteurs du réseau peuvent contribuer simultanément au même quasi-accord de phase [4].

Dans ce travail, nous étudions, numériquement, la gestion du gain paramétrique optique en déterminant la contribution des vecteurs de réseau réciproque. Nous nous limitons, à étudier le cas de motif circulaire car il donne un meilleur gain paramétrique optique par rapport aux autres motifs (carré, rectangulaire, ou hexagonal), d'une part, et il convient mieux pour les matériaux qui présentent une isotropie dans le plan X-Y, d'autre part [5]. Nous présentons également les résultats expérimentaux préliminaires de l'étude du gain dans un CPNL de type PPLT-2D.

2. ETUDE ET ANALYSE

Toutes les configurations possibles pour une structure cristalline périodique 2D peuvent être regroupées et classifiées selon les cinq réseaux de Bravais [6]

Dans les CPNL, la conversion multi-longueurs d'onde est possible via le processus de la génération paramétrique optique si la condition de quasi-accord de phase (QPM) donnée ci-dessous est satisfaite : $\mathbf{k}_p = \mathbf{k}_s + \mathbf{k}_i + \mathbf{k}_{mn}$ (1)

avec \mathbf{k}_p , \mathbf{k}_s , \mathbf{k}_i sont les vecteurs d'onde du pompe, du signal et de l'*idler*, respectivement, et $\mathbf{k}_{mn} = 2\pi \left(\frac{m}{\Lambda_x} \hat{x} + \frac{n}{\Lambda_y} \hat{y} \right)$ est le vecteur du réseau réciproque résultant du m^{eme} et n^{eme} ordre sur les directions cristallographiques \hat{x} et \hat{y} du CPLN. Nous nous intéressons aux premiers vecteurs de réseau réciproques : \mathbf{k}_{10} , $\mathbf{k}_{1\pm 1}$ et $\mathbf{k}_{1\pm 2}$ non seulement pour leur gain paramétrique élevé, mais aussi pour la plage des longueurs d'onde signal et *idler* générées [4]. La figure 1 montre la variation des longueurs d'onde signal et *idler* pour les différents vecteurs de réseau réciproque \mathbf{k}_{10} , $\mathbf{k}_{1\pm 1}$ et $\mathbf{k}_{1\pm 2}$, pour un cristal PPLT-2D ($\Lambda_x = \Lambda_y = 5.82 \mu\text{m}$) ayant un motif circulaire avec un taux de remplissage de 38% et à une température de 111 °C. L'angle d'incidence de pompe ($\lambda_p = 532 \text{ nm}$) est $\theta_p = 0^\circ$.

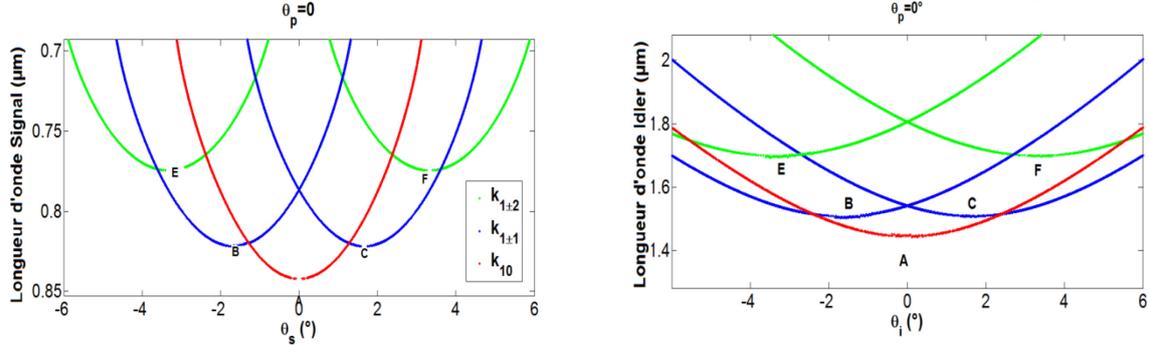


Fig. 1 : Longueurs d'onde signal et *idler* générées en fonction de leurs directions par rapport la direction colinéaire pour les vecteurs de réseau réciproque \mathbf{k}_{10} , $\mathbf{k}_{1\pm 1}$ et $\mathbf{k}_{1\pm 2}$.

Le tableau 1 récapitule les simulations faites pour les mêmes paramètres de PPLT-2D cités ci-dessus en faisant varier le type de réseau pour deux cas $\theta_p = 0^\circ$ et $\theta_p = 1^\circ$. Cette étude nous permet de prédire la valeur de gain et les coefficients de Fourier aux points A, B, C, E et F pour chaque type de réseau.

Tab. 1 : Influence des vecteurs \mathbf{k}_{mn} pour les réseaux : carré, rectangulaire et hexagonal.

θ_p	Réseau	\mathbf{k}_{mn}	λ_s [nm]	λ_i [nm]	$\theta_{s,i}$ [°]	$ a_{mn} $	Gain [$\times 10^{26}$]
0°	Carré $\Lambda_x = \Lambda_y = 5.82 \mu\text{m}$	\mathbf{k}_{10}	842	1445	0.00	0.3973	1.5334
		$\mathbf{k}_{1\pm 1}$	822	1501	± 1.67	0.1016	0.3879
		$\mathbf{k}_{1\pm 2}$	774.5	1700	± 3.33	0.1176	0.4323
	Rectangulaire $\Lambda_x = 8.52 \mu\text{m}$ $\Lambda_y = 58.52 \mu\text{m}$	\mathbf{k}_{10}	841.8	1445	0.00	0.3973	1.5332
		$\mathbf{k}_{1\pm 1}$	841.3	1447	± 0.33	0.1016	0.3918
		$\mathbf{k}_{1\pm 2}$	839.9	1451	± 0.48	0.1176	0.4535
	Hexagonal $\Lambda_x = 8.52 \mu\text{m}$ $\Lambda_y = 58.52 \mu\text{m}$	\mathbf{k}_{10}	834.6	1467	0.00	0.3220	1.2384
		$\mathbf{k}_{1\pm 1}$	788.3	1636	± 2.89	0.1290	0.4824
		$\mathbf{k}_{1\pm 2}$	725.4	1995	± 4.80	0.0233	0.8185
1°	Carré $\Lambda_x = \Lambda_y = 5.82 \mu\text{m}$	\mathbf{k}_{10}	841.6	1431	± 1.029	0.1526	0.5911
		\mathbf{k}_{1+1}	846.8	1446	± 0.608	0.1847	0.7155
		\mathbf{k}_{1-1}	800	1588	± 2.67	0.1526	0.5911
		\mathbf{k}_{1+2}	811.7	1544	± 2.37	0.0773	0.3
	Rectangulaire $\Lambda_x = 8.52 \mu\text{m}$ $\Lambda_y = 58.52 \mu\text{m}$	\mathbf{k}_{10}	841.6	1446	± 1.029	0.1847	0.7128
		\mathbf{k}_{10}	850.2	1422	± 0.066	0.2004	0.7764
	Hexagonal $\Lambda_x = 8.52 \mu\text{m}$ $\Lambda_y = 58.52 \mu\text{m}$	\mathbf{k}_{1+1}	823.9	1502	1.86	0.1146	0.4438
		\mathbf{k}_{1-1}	820.4	1513	1.99	0.2004	0.7764
		\mathbf{k}_{1+2}	764.2	1751	± 3.78	0.0136	0.0526
\mathbf{k}_{1-2}		759.7	1775	± 3.91	0.1146	0.4438	

Dans le cas $\theta_p = 0^\circ$, le gain paramétrique optique est maximal pour le vecteur \mathbf{k}_{10} du réseau carré. Le réseau hexagonal permet d'avoir des plages de longueurs d'onde du signal et de l'*idler* plus larges par rapport aux deux autres réseaux. Son avantage majeur est la séparation spatiale importante des vecteurs \mathbf{k}_{mn} qui pourrait être intéressant pour des applications dans le domaine de

l'optique quantique. Dans le cas $\theta_p=1^\circ$, le gain est maximal ($g=0.7155 \times 10^{26}$) pour le vecteur \mathbf{k}_{11} d'un réseau carré dont sa valeur est relativement faible par rapport au cas $\theta_p=0^\circ$. Les longueurs d'onde générées sont proches spatialement si leurs spectres sont proches. Pour un réseau rectangulaire, la génération paramétrique optique est possible seulement pour le vecteur \mathbf{k}_{10} . Cela implique qu'il existe des cas où la gestion du gain n'est plus possible. La même tendance a été observée pour d'autres $\theta_p \neq 0^\circ$.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

La première étape de la partie expérimentale, est de déterminer l'efficacité de conversion optique d'un CPNL. Il s'agit de même cristal PPLT-2D cité ci-dessus. La Figure 2 montre la variation des longueurs d'onde signal et *idler* en fonction de la température (entre 90°C et 140°C) pour une puissance pompe de 20 mW ($\theta_p=0^\circ$). On constate un bon accord entre les résultats expérimentaux et les simulations numériques. Les plages de variation des longueurs d'ondes signal et *idler* sont de 14 nm et 50 nm, respectivement.

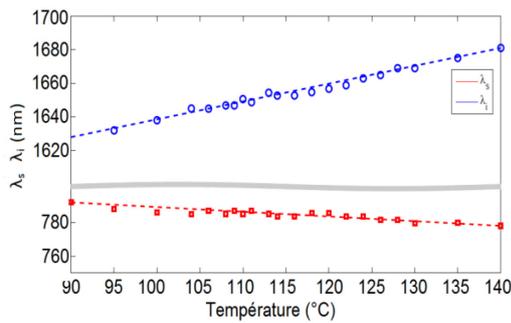


Fig. 2 : Variation des longueurs d'onde générées du signal et de l'*idler* en fonction de la température pour une puissance de pompe $P_p=20$ mW.

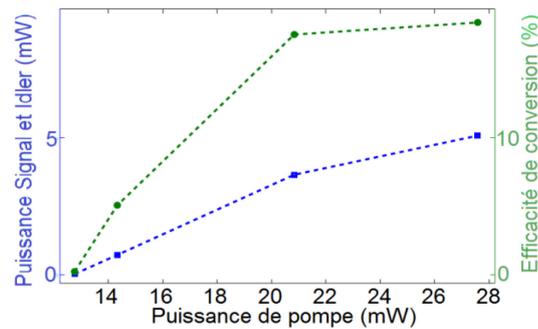


Fig. 3 : Variation de la puissance signal et de l'efficacité de la conversion en fonction de la puissance pompe à la température $T_{QPM}=111^\circ\text{C}$.

L'évolution de la puissance signal et *idler* en fonction de celle de la pompe à la température optimale $T_{QPM}=111^\circ\text{C}$ est présentée sur la Figure 3. La puissance du signal générée atteint la valeur 5.08 mW pour une intensité de pompage 27.6 mW. La Figure 3 montre également l'efficacité de conversion paramétrique calculée pour chaque signal et *idler*. L'efficacité maximale vaut $\eta=18.4\%$ pour une puissance de pompage $P_p=27.6$ mW. Cette valeur d'efficacité est relativement faible par rapport à la littérature [5], puisque notre cristal n'était pas traité antireflet.

CONCLUSION

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à étudier les mécanismes de conversion de fréquences dans les CPNL. Les résultats montrent qu'il est possible de manager le gain à la baisse ou à la hausse en jouant sur le type de réseau et les vecteurs du réseau réciproque impliqués. Nous avons, expérimentalement, étudié l'efficacité de la conversion paramétrique optique (efficacité maximale $\eta_{\max}=18.4\%$) dans un cristal PPLT-2D avec un réseau carré. Cette étude se poursuit afin d'identifier expérimentalement les vecteurs du réseau réciproque impliqués. Nous nous intéressons également aux mêmes travaux à base de CPNL en configuration guidée.

REFERENCES

- [1] V. Berger, *Physical Review Letters*, vol. 81, no. 19, p. 4136, 1998.
- [2] W. K. Chang, Y. H. Chen, H. H. Chang, J.W. Chang, C. Y. Chen, Y. Y. Lin, Y. C. Huang and S. T. Lin *Optics Express*, vol. 19, no. 24, p. 23643, 2011.
- [3] H. C. Liu and A. H. Kung, *Optics Express*, vol. 16, no. 13, p. 9714, 2008.
- [4] A. Arie, N. Habshoosh, and A. Bahabad, *Optical and Quantum Electronics*, vol. 39, p. 361, 2007.
- [5] N. G. R. Broderick, G. W. Ross, H. L. Offerhaus, D. J. Richardson and D. C. Hanna, *Physical Review Letters*, vol 84, no 19, 2000.
- [6] M. Maldovan and E. L. Thomas, *Phononics and Mechanics*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2009.