

CONVERSIONS DE FREQUENCE EN CASCADE DANS DES CRISTAUX PHOTONIQUES NON LINEAIRES : POINTS DE CROISEMENT MAGIQUES DEPENDANTS DE LA TEMPERATURE

S. Mohand Ousaid, J-Y. Han, K-H. Chang, M. W. Lee, M. Chakaroun,
L.-H. Peng et A. Boudrioua

¹ *Laboratoire de Physique de Lasers CNRS UMR 7538, Université Paris 13, Villetaneuse, France*

² *Graduate Institut of Photonics and Optoelectronics, GIPO, NTU, Taipei, 106, Taiwan*

Safia.mohandousaid@univ-paris13.fr

RÉSUMÉ

Ce travail concerne l'étude des cristaux photoniques non linéaires comme plateforme de sources à photons corrélés. L'évolution en fonction de la température des interactions non linéaires dans ces structures révèle l'existence de points de croisement « magiques » présentant des états photoniques superposés.

MOTS-CLEFS : *cristaux photoniques non linéaires, optique quantique*

1. INTRODUCTION

Les cristaux photoniques non linéaires sont des matériaux dans lesquels le signe de $\chi^{(2)}$ est inversé périodiquement dans deux directions [1]. Cela produit de nombreux vecteurs du réseau réciproque 2D. Chaque vecteur correspond à une ou plusieurs solutions de quasi accord de phase (QPM). Par conséquent, la structure 2D offre une bien plus grande flexibilité pour les processus non linéaires par QPM [2, 3] et donc pour la génération multi-longueurs d'onde. En outre, des sources à base de la fluorescence paramétrique utilisant des cristaux photoniques non linéaires ont récemment été utilisées pour démontrer les protocoles de communication quantique sur de longues distances [4, 5], aussi bien en espace libre qu'en fibres de télécommunication. En fait, les sources de photons uniques et/ou intriqués constituent un composant essentiel pour un grand nombre d'expériences d'information et de communication quantiques.

La génération paramétrique de photons jumeaux corrélés dans des cristaux optiques non linéaires [6] offre l'avantage d'un fonctionnement à température ambiante et d'une émission fortement directionnelle. De plus, compte tenu de l'application potentielle du QPM multi-longueurs d'onde et multidirectionnel, les cristaux photoniques non linéaires peuvent être utilisés comme support paramétrique concurrentiel pour les sources à photon unique annoncée (HSPS), dans laquelle le gain paramétrique peut être contrôlé [6].

Dans cette étude, nous nous intéressons à la dépendance en température de la génération paramétrique optique en cascade dans des cristaux photoniques non linéaires de LiTaO_3 (PPLT-2D) de réseau carré. Après avoir établi plusieurs groupes simultanés de conversion de fréquence à partir de la génération paramétrique optique (OPG) [7], il s'est avéré que l'interaction du signal (λ_s), de la l'idler (λ_i) et de la pompe peut également conduire à plusieurs interactions non linéaires en cascade tels que SHG, SFG et DFG. L'évolution de ces derniers montre l'existence de ce que l'on peut appeler des points de croisement « magiques » lors de la cartographie des interactions non linéaires en fonction de la température. Ces points correspondent à des superpositions d'états photoniques dégénérés qui pourraient être utilisés comme plateforme pour la génération de photons corrélés.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Nous avons utilisé un réseau carré de tantalate de lithium périodiquement polarisé (PPLT)-2D avec une période de $8,52 \mu\text{m}$ et un facteur de remplissage de 38%. La longueur du cristal est de 2 cm avec une épaisseur de $0,5 \text{ mm}$ et la pompe est un laser vert à impulsions de 532 nm avec une puissance maximale de 80 kW et une largeur d'impulsion de $0,5 \text{ ns}$. Les spectres mesurés des processus de conversion de fréquence en cascade présentent 10 pics de longueur d'onde à 393 nm , 402 nm , 518 nm , 532 nm , 548 nm , 787 nm , 820 nm , 1518 nm , 1576 nm et 1642 nm à une température de cristal de $T = 110^\circ \text{C}$.

Plus important, lorsque les longueurs d'ondes générées de manière paramétrique sont cartographiées en fonction de la température de l'échantillon (Fig. 1.a), un phénomène intéressant est observé à $T = 64^\circ \text{C}$, où quatre groupes de longueurs d'onde se croisent à $\lambda = 399 \text{ nm}$ ($|1\rangle$), 532 nm ($|2\rangle$), 798 nm ($|3\rangle$) et 1596 nm ($|4\rangle$) indiquant des états photoniques dégénérés. En modifiant la température du cristal, il est possible de faire passer les processus optiques non linéaires impliqués des états dégénérés à des états non dégénérés. En plus, cela implique une nouvelle approche pour générer des photons corrélés avec des caractéristiques spectrales contrôlées par conversion paramétrique dans un cristal 2D non linéaire [2]. Nous avons ensuite tiré parti de l'équation de Sellmeier pour l'indice de réfraction des cristaux de LiTaO_3 pour évaluer l'effet de la température sur les processus paramétriques QPM. Notre étude indique qu'il est essentiel d'utiliser avec soin les paramètres de l'équation de Sellmeier rapportés dans la littérature. De petits changements dans les coefficients de Sellmeier pourraient induire une erreur dans l'interprétation des données expérimentales ainsi qu'une conception erronée des dispositifs de conversion de fréquence par QPM. Le poids de cet effet est plus important lorsque l'on considère les interactions non linéaires en cascade.

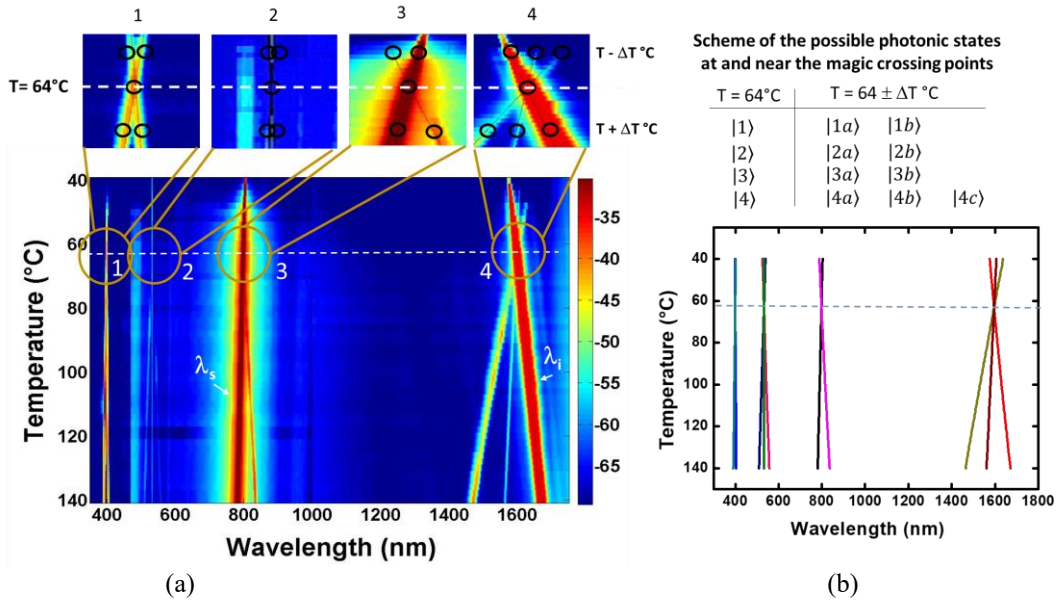


Fig. 1 : Interactions non linéaires en cascade en fonction de la température de 40°C à 140°C . (a) Les données expérimentales avec, ci-dessus, des zooms sur des points de passage observés à $T = 64^\circ \text{C}$. (b) Simulations utilisant les coefficients de Sellmeier déterminés par ajustement.

En plus des résultats rapportés ci-dessous, nous nous intéressons à des mesures de photons annoncés utilisant les structures PPLT-2D étudiés avant, pendant et après la température $T = 64^\circ \text{C}$. Le principe repose sur la détection séparée des photons d'une paire où l'un sert à annoncer la présence de l'autre sur un second détecteur. A noter que les cristaux photoniques non linéaires permettent (contrairement aux structures 1D) la disponibilité de plusieurs vecteurs du réseau réciproque dans des directions différentes introduisant une flexibilité supplémentaire pour la

séparation des deux photons dès la sortie du cristal. Afin de caractériser les performances de nos échantillons, nous travaillons sur l'approche développée dans la référence [9]. Les performances sont quantifiées en termes de probabilités d'avoir exactement un photon et/ou plus d'un photon par signal annonciateur. Les résultats de cette étude sont en cours d'analyse et de validation.

CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons mis en évidence l'existence de points de croisement « magiques » lors de la génération optique en cascade en utilisant un cristal photonique non linéaire de type PPLT-2D avec un réseau carré. La détermination exacte des coefficients de Sellmeier en ajustant les données expérimentales permet d'analyser de manière approfondie le comportement de ces points de croisement en laissant entrevoir des applications dans le domaine du traitement du signal optique. Par exemple, à des températures spécifiques ($T = 64^{\circ}\text{C}$), il est possible de générer simultanément des états photoniques corrélés. Combiner ces structures PPLT-2D avec des guides d'onde devraient permettre la réalisation de plateformes intégrées de sources de photons corrélés multi-longueurs d'ondes et multidirectionnels.

REFERENCES

- [1]. V. Berger, «*Nonlinear photonic crystals*», Phys. Rev. Lett. 81 (19), 4136 (1998).
- [2]. L.-H. Peng et al. «*Broad multi-wavelength second-harmonic generation from 2D $\chi^{(2)}$ nonlinear photonic crystals of tetragonal lattice structure* », IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron. 10, 1142 (2004).
- [3]. N. G. R. Broderick et al., «*Hexagonally poled lithium niobate: a two dimensional nonlinear photonic crystals*», Phys. Rev. Lett. 84, 4345 (2000).
- [4]. R. Ursin, «*Entanglement-based quantum communication over 144 km*», Nature Physics 3, 481 (2007).
- [5]. H. Hübel et al., «*High-fidelity transmission of polarization encoded qubits from an entangled source over 100 km of fiber*», Opt. Express 15, 7853 (2007).
- [6]. H.-C. Liu and A. H. Kung, Optics express, «*Substantial gain enhancement for optical parametric amplification and oscillation in two dimensional $\chi^{(2)}$ nonlinear photonic crystals*», 16(13), 9714 (2008).
- [7]. Z. Yellas, M. W. Lee, R. Kremer, K.-H. Chang, M. R. Beghou, L.-H. Peng and A. Boudrioua, «*Multiwavelength generation from multi-nonlinear optical process in a 2D PPLT*», Optics Express, 25, 30253–30258 (2017).
- [8]. E. Megidish, A. Halevy, H. S. Eisenberg, A. Ganany-Padowicz, N. Habshoosh, and A. Arie, «*Compact 2D nonlinear photonic crystal source of beamlike path entangled photons*», Optics Express 21(6), 6689-6696 (2013).
- [9]. O. Alibert, «*Source de photons uniques annoncés à 1550nm en optique guidée pour les communications quantiques* », thèse 2004, Université de Nice.