







Journée de la Photonique – 1^{ère} édition









PROGRAMME DU 4 NOVEMBRE 2011

DETAIL DES COMMUNICATIONS ORALES

Chaque communicant dispose de 15 min + 5 min pour les questions

8h30 – 9h00 Accueil des participants (salle R22)

9h00 - 9h30

Discours d'ouverture de la journée par Hans Rudolph Jauslin

9h30-10h30

Président de séance :

1. Charles Henri HAGE (ICB)

Optimisation de l'Auto-décalage Raman d'un soliton pour la Microscopie CARS

2. Romain MARTINENGHI (FEMTO-ST)

Calculateur neuromorphique basé sur une dynamique non linéaire optoélectronique à retards multiples

3. Michael CLAUDON (ICB)

Développement d'une source laser UV impulsionnelle TEM₀₀ pour application industriel

10h30 – 11h10 Pause et présentation des affiches

11h10 - 12h30

Président de séance :

4. Luai AL FARES (FEMTO-ST)

Autofocalisation adiabatique par une non linéarité accordable

5. Inna SAVELII (ICB)

Amélioration des propriétés optiques des fibres microstructurée pour la génération de supercontinuum

6. Amaury MATHIS (FEMTO-ST)

Production de faisceaux accélérants arbitraires via une approche de caustique

7. Philippe MORIN (ICB)

Double régénération tout-optique du profil temporel et de l'état de polarisation d'un signal RZ à 40 Gbit/s

12h45 - 14h00

Repas au restaurant universitaire Montmuzart

14h00 - 15h40

Président de séance :

8. Geoffroy SCHERRER (ICB)

Etude en champ proche optique de substrats-réseaux résonants

9. Mathieu MIVELLE (FEMTO-ST)

Nano-ouverture papillon comme sonde champ-proche nano-polarisante

10. Jean DELLINGER (ICB)

Microscopie champ proche multi photons

11. Karim HASSAN (ICB)

Characterization of thermo-optical 2×2 switch configurations made of Dielectric Loaded Surface Plasmon Polariton Waveguides for telecom routing architecture

12. Claude RENAUT (ICB)

Piégeage optique avec une microcavité Fabry-Pérot en SOI

15h40 – 16h20 Pause et présentation des affiches

16h20 - 17h20

Président de séance :

13. Ibrahim EL MANSOURI (ICB)

Sources optiques picosecondes entièrement fibrées cadencées et stables à 20GHz et à 40GHz pour des applications à 160 Gbit/s

14. Elie ASSEMAT (ICB)

Analyse de l'attraction de polarisation dans les fibres optiques en torsion et dans les fibres telecom

15. Ismael MBODJI (FEMTO-ST)

Mise en œuvre d'un système d'intrication de paires de photons dans le domaine fréquentiel

17h30 – 19h00 Cocktail

Sommaire des présentations

Communications Orales

Optimisation de l'auto-décalage Raman d'un soliton pour la Microscopie CARS <i>Charles-Henri HAGE</i>
Calculateur neuromorphique basé sur une dynamique non linéaire optoélectronique à retards multiples
Romain MARTINENGHI
Développement d'une source laser UV impulsionnelle TEM00 pour application industrielle <i>Michael CLAUDON</i>
Autofocalisation adiabatique par une non linéarité accordable Luai AL FARES
Amélioration des propriétés optiques des fibres microstructurée pour la génération de supercontinuum
Production de faisceaux accélérants arbitraires via une approche de caustique <i>Amaury MATHIS</i>
Double régénération tout-optique du profil temporel et de l'état de polarisation d'un signal RZ à 40Gbit/s
Etude en champ proche optique de substrats-réseaux résonants Geoffroy SCHERRER 17
Nano-ouverture papillon comme sonde champ-proche nano-polarisante Mathieu MIVELLE
Microscopie champ proche multi photons Jean DELLINGER
Characterization of thermo-optical 2×2 switch configurations made of Dielectric Loaded Surface Plasmon Polariton Waveguides for telecom routing architecture
Karim HASSAN
Piégeage optique avec une microcavité Fabry-Pérot en SOI <i>Claude RENAUT</i>
Sources optiques picosecondes entièrement fibrées cadencées et stables à20GHz et à 40GHz pour des applications à 160Gbit/s Ibrahim EL MANSOURI
Analyse de l'attraction de polarisation dans les fibres optiques en torsion et dans les fibres telecom
Elie ASSEMAT
Mise en œuvre d'un système d'intrication de paires de photons dans le domaine fréquentiel Ismael MBODJI

Communications par affiches

Moteur quantique basé sur le contrôle de la distribution angulaire d'une molécule par impulsio	n
laser	10
Nicolas BERTI	0
Cristaux photoniques LiNbO3 sur ridges : vers les micro-composants accordables 3D	
Clément GUYOT	29
Source de photons uniques couplée à une nanostructure plasmonique	
Stéphane DEROM	60
Compression spectrale d'impulsions	
Benoit FRISQUET	\$1
Imagerie ultra-rapide à travers les milieux diffusants par conjugaison de phase	
Mischa GUILLERM	82
Doublage et quadruplage du taux de répétition d'un train impulsionnel	
Romain GUYARD	13
La nano-antenne magnétique Diabolo	
Mathieu MIVELLE	\$4
Détection de l'intrication par la mesure des fluctuations spatiales dans des images : Premier	rs
résultats expérimentaux	
Joé MOUGIN-SISINI	5
Retard optique accordable par amplification Paramétrique dans les fibres optiques fortement	nt
biréfringentes	
Nour NASSER	6
Information quantique avec des ions piégés	
Benjamin ROUSSEAUX	7
Suppression de l'effet Brillouin dans une fibre optique microstructurée périodique	
Birgit STILLER	8

Communications Orales

Optimisation de l'Auto-décalage Raman d'un soliton pour la Microscopie CARS

C-H. Hage¹, B. Kibler¹, E. Mottay², H. Rigneault³, J.M. Dudley⁴, G. Millot¹, C. Finot¹

¹Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS - Université de Bourgogne, Dijon, France ²Amplitude Systemes, Pessac, France ³Institut Fresnel, UMR 6133, Marseille, France ⁴Institut FEMTO-ST, UMR 6174, Besançon, France

charles-henri.hage@u-bourgogne.fr

La microscopie de diffusion Raman anti-Stokes cohérente (ou CARS, Coherent Anti-Stokes Raman Scattering) est une microscopie promettant une réelle avancée pour le domaine de l'imagerie cellulaire [1] dont la diffusion est freinée par l'emploi nécessaire de 2 impulsions synchronisées temporellement et spatialement et décalées en longueur d'onde, ce décalage étant actuellement lourd et coûteux à réaliser. Une alternative originale employant l'auto-décalage fréquentiel Raman d'un soliton (SSFS – Soliton Self-Frequency Shift, diffusion Raman intrapulse) est récemment apparue [2]. Cette alternative permet des décalages sur plusieurs centaines de nm [3] et est d'autant plus important s'il se produit au sein de fibres microstructurées [4,5]. Après une description quantitative des caractéristiques nécessaires à l'obtention de tels solitons, une étude expérimentale (figure 1 (a)) est menée sur 3 fibres microstructurées présentant des propriétés différentes. Le premier résultat est montré figure 1 (b).



Figure 1: dispositif expérimental de caractérisation des fibres (a), comparaison des énergies des solitons décalés en fonction de l'énergie injectée (b)

Une des 3 fibres semble convenir pour un test de dispositif (décalage maximal de 340 nm, densité spectrale d'énergie de 300 μ W/nm). Des mesures de bruit basées sur l'analyse radio-fréquence [6] du soliton décalé viendront confirmer ce résultat avec des bruits moyens de 0,15% en intensité et de 300 fs en temps, valeurs assez surprenantes car semblables à celles du laser initial.

References

[1] J.-X. Cheng, X.S. Xie, Coherent Anti-Stokes Raman Scattering Microscopy : Instrumentation, theory and applications, J. Phys. Chem. B, 108, 827-840 (2004).

[2] E. R. Andresen, C. K. Nielsen, J. Thogersen, S. R. Keiding, Fiber laser-based light source for coherent anti-Stokes Raman scattering microspectroscopy, Opt. Exp., 15 (8), 4848-8456 (2007)

[3] F. M. Mitschke, L.F. Mollenauer, Discovery of the self-frequency shift, Opt. Let., 11 (10), 659-661 (1986).

[4] I. G. Cormack, D. T. Reid, W. J. Wadsworth, J. C. Knight and P. St.. J. Russel, Observation of soliton self-frequency shift in photonic crystal fiber, Elec. Let., 38 (4), 167-169 (2002).

[5] P. St. J. Russel, Photonic-Crystal Fibers, J. Lightwave Technol., 24 (12), 4729-4749 (2006).

[6] D. Von der Linde, Characterization of the Noise in Countinously Operating Mode-Loked Lasers, Appl. Phys. B, 39, 201-217 (1986).

Calculateur neuromorphique basé sur une dynamique non linéaire optoélectronique à retards multiples

Romain Martinenghi, Sergueï Rybalko, Yanne K. Chembo, Maxime Jacquot et Laurent Larger

Institut FEMTO-ST, UMR 6174 CNRS – Université de Franche-Comté, 32 avenue de l'Observatoire,

25044 BESANCON Cedex

romain.martinenghi@femto-st.fr

Les calculateurs neuromorphiques, appelés également « Reservoir Computing », constituent une thématique de recherche émergeante issue du domaine des calculateurs à réseaux de neurones [1], et des sciences cognitives du cerveau [2]. Notre approche exploite le potentiel de calcul de systèmes capables de proposer des dynamiques complexes (appelés Réservoir) lors de leur excitation par des données à analyser. Le résultat du calcul, ou encore la solution au problème de l'analyse des données, s'obtient alors par une lecture « adéquate » de la trajectoire-réponse du Réservoir dans son espace des phases de grande dimension. Cette lecture consiste en l'apprentissage des localisations de cette trajectoire-réponse, propres à chacune des réponses possibles attendues. La localisation est très généralement effectuée par une séparation linéaire, c'est-à-dire par la recherche d'hyperplans de l'espace des phases qui permettent de mettre en évidence les solutions, celles-ci étant initialement cachées dans les données de départ. Le traitement effectué par le système dynamique complexe sur les données à analyser, peut être considéré comme un étalement des données initiales, dans un espace de plus grande dimension, ce qui rend possible la séparation des informations initialement « trop » entremêlées. Le « Reservoir Computing » en est



Fig.1 : Principe du calculateur neuromorphique

encore à ses débuts, et les « investigations expérimentales" effectuées à ce jour se limitent dans la grande majeure partie des cas à des simulations numériques, où la dynamique complexe est expérimentée soit par un réseau de nœuds dynamiques avec une non linéarité de type sigmoïdale, soit par des réseaux semblables aux modélisations réalisées en neurosciences. Nous proposons dans cette contribution de présenter les premiers résultats de réalisation optoélectronique d'un calculateur neuromorphique sur la base d'un système dynamique à retards multiples. Dans ce dernier, le grand nombre de retards est destiné à augmenter la connectivité et donc la complexité, dans l'espace des phases de la dynamique à retard (espace de dimension infinie dans un sens similaire à celui des dynamiques spatio-temporelles [3]). Nous présenterons les résultats de caractérisation expérimentale de cette dynamique non linéaire à plusieurs centaines de retards, obtenue en combinant un système optoélectronique [4] à de multiples retards réalisés par un FPGA (composant logique programmable, Fully Programmable Gate Array). Le modèle dynamique est dérivé d'un filtre passe-bande (dynamique intégro-différentielle).

Des résultats numériques et expérimentaux basés sur des tâches telles que la « prédiction » et la « classification » permettent de quantifier l'efficacité de calcul de notre calculateur neuromorphique. Ainsi, ces tests standards NARMA (Nonlinear Auto-Regressive Moving Average) donnent une erreur quadratique normalisée inférieure à 0.3 (l'objectif étant de descendre en dessous du seuil des 0.4 définit par les calculateurs conventionnels appelés « machine de Turing ») ou encore, un test de reconnaissance vocale (Spoken Digit recognition) donnant des taux d'erreur de mots proche de 0%.

Références

1. H. Jaeger, The "echo state" approach to analysing and training recurrent neural networks, *Technical Report GMD* 148, German National Research Center for Information Technology, (2001).

2. W. Maass, T. Natschläger, H. Markram, Real-Time Computing Without Stable States : A New Frame-work for Neural Computation Based on Perturbations, *Neural Comput.* **14**, 2531-2560 (2002).

3. F.T. Arecchi, G. Giacomelli, A. Lapucci, R. Meucci, Two-dimensional representation of a delayed dynamical system, *Phys. Rev. A* 45, R4225 (1993).

4. J.-P. Goedgebuer, L. Larger, H. Porte, Optical cryptosystem based on synchronization of hyperchaos generated by a delayed feedback tunable laserdiode, *Phys. Rev. Lett.*, **80**, 2249-2253 (1998).

Développement d'une source laser UV impulsionnelle TEM₀₀ pour application industrielle

Michaël Claudon et Olivier Musset

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS, 9 avenue Alain Savary, BP47 870, 21078 DIJON Cedex michael.claudon@u-bourgogne.fr

La source laser présentée est réalisée dans le cadre d'un contrat de recherche, financé par l'ADEME, avec l'entreprise Bertin Technologies.

La partie fondamentale de la source laser, fonctionnant en déclenchée à 1064nm, est basée sur une architecture MOPA (master oscillator and power amplifier). Le pompage optique est obtenu par un réseau de diodes laser quasi-continues qui pompent simultanément, selon une direction longitudinale, les deux cristaux des deux étages. Les performances obtenues en termes de rendement et qualité de faisceau sont supérieures à celles constatées dans la littérature [1] à [3] avec notamment la plus forte énergie extraite d'un oscillateur simple monomode transverse ($M^2 < 1,5$). La figure 1 représente le profil du faisceau et l'impulsion laser en sortie du MOPA.



Figure 1 : Profil du faisceau et impulsion infra rouge en sortie du MOPA

Les étages non linéaires utilisent deux cristaux différents pour : produire du vert avec un doublage de type II via un cristal de KTP et de l'ultraviolet en doublage type I via un cristal de BBO.

La figure 2 présente une photographie du démonstrateur expérimental avant le passage à un prototype de présérie, le partenaire industriel ayant souhaité produire la source laser.



Figure 2 : Photographie du démonstrateur

Références :

[1] Gilles Feugnet and Jean Paul Pocholle, **8-mJ TEM00 diode end pumped frequency-quadrupled Nd:YAG** laser, Optics Letters, Vol.23, N 1 (1998)

[2] Thomas Denis et al., Compact diode stack end pumped Nd:YAG amplifier using core doped ceramics, Applied Optics, Vol. 49, N.5 (2010)

[3] M. Saccoccio et al., Chemcam on MSL2009 : First laser induced Breakdown spectrometer for space science

Autofocalisation adiabatique par une non linéarité accordable

Luai Al Fares, Fabrice Devaux, Mathieu Chauvet

Institut FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France

luai.alfares@femto-st.fr

Mots-cles : guide photo-induit, autofocalisation, effet photoréfractif, effet pyroélectrique.

Notre travail porte sur la mise en forme spatiale de faisceaux par propagation dans des milieux non linéaires. L'étude s'intéresse en particulier à la focalisation adiabatique dans un milieu à non linéarité variable. La formation de guides adiabatiques induits par des faisceaux auto-piégés est présentée. Le concept proposé est basé sur l'utilisation d'une nonlinéarité focalisante dont l'amplitude varie au cours de la propagation. Les démonstrations expérimentales sont réalisées dans des cristaux de LiNbO₃ où l'effet non linéaire photoréfractif est contrôlé par la température.

La théorie des solitons spatiaux [1] montre que pour une nonlinéarité focalisante donnée, il n'existe qu'un seul diamètre de faisceau qui peut se propager en conservant un profil invariant. Si un faisceau aux caractéristiques inadaptées est injecté dans ce milieu, la distribution de lumière va être modifiée et, au final, une dislocation du faisceau peut se produire sous l'effet de l'instabilité de modulation [2]. Nous proposons d'utiliser des milieux dont la non linéarité est modulée spatialement afin de contrôler les propriétés autofocalisantes et ainsi d'augmenter les capacités de mise en forme de faisceaux par effet non linéarie.

Nous appliquons ce concept afin de focaliser progressivement un faisceau initialement large. L'autofocalisation de la lumière est contrôlée par une non linéarité photoréfractive dont l'amplitude augmente au cours de la propagation. La focalisation adiabatique progressive obtenue (figure 1) permet d'induire un guide circulaire formant un guide adiabatique mémorisé dans le milieu. Les démonstrations expérimentales sont réalisées dans le LiNbO₃ dont les propriétés non linéarité est basée sur l'exploitation de l'effet pyroélectrique qui permet, comme nous l'avons récemment démontré [3], d'obtenir un effet non linéaire focalisant efficace permettant la génération de solitons spatiaux à l'aide d'une élévation modeste de la température du LiNbO₃.



Fig. (1) : Dynamique de l'autofocalisation induit par une augmentation de la température de sortie T_2

. Paramètres : $T_1=30^{\circ}C$, $P=60\mu w$

Un faisceau similaire au précédent est injecté (fig. 1a) dans le cristal et les températures initiales sont T1=30°C, à l'entrée du cristal, et T2=32°C à la sortie (fig. 1b). Ces températures légèrement au dessus de la température ambiante (température d'équilibre du cristal) font apparaître une focalisation très faible (Fig. 1d) car l'effet non linéaire est proportionnel à l'écart de température avec l'ambiant

On constate qu'avec cette méthode la lumière se focalise sans apparition de dislocation. En augmentant la température T2 jusqu'à 48°C (Δ T2=30°C).

Références

[1] A. D. Boardman, A. P. Sukhorukov, Soliton Driven Photonics (Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 2001).

[2] A. V. Mamaev, M. Saffman and A. A. Zozulya. "Breakup of two-dimensional bright spatial solitons due to transverse modulation instability", Europhys letters. **35**, pp. 25-30 (1996).

[3] J. Safioui, F. Devaux, M. Chauvet, "Pyroliton: pyroelectric spatial soliton," Opt. Express, 17, no. 24, p. 22209, 2009.

Amélioration des propriétés optiques des fibres microstructurée pour la génération de supercontinuum

Inna Savelii, Jean-Charles Jules, Gregory Gadret, Frédéric Désévédavy et Frédéric Smektala

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary, BP 47870, 21078 DIJON Cedex

Inna.Savelii@u-bourgogne.fr

La génération de supercontinuums (SC) dans les fibres optiques microstructurées (FOM) en nonsilice a fait l'objet de nombreuses études dans les derniers temps. Ce type des fibres représentent une nouvelle catégorie de guides d'ondes optiques qui permettent d'accroître fortement les effets nonlinéaires avec des paramètres de dispersion multiples. En général, la non-linéarité du verre utilisé est déjà prédéterminée par sa nature. C'est pourquoi beaucoup de travaux sur le développement de nouvelles compositions pour l'optique non-linéaire et sur la fabrication des fibres se sont développés à la même époque.

Dans ce travail nous présentons l'amélioration des propriétés optiques des FOMs utilisées pour la génération du SC. Nos premiers résultats dans le développement de sources large bande dans l'infrarouge moyen en TeO₂-ZnO-Na₂O (TZN) verres [1] ont montré la limitation d'élargissement spectrale. Ce phénomène peut être expliqué par le niveau important des pertes optiques [2, 3] et par la pollution du verre par les OH-ions [4]. Par conséquent nous proposons ici une nouvelle méthode de synthèse du TZN verre, la fabrication des FOM et leurs caractérisations optiques. Figure 1 présente la comparaison des pertes optiques dans les fibres mono-indice tirées du verre préparé sous air et dans la boite aux gants sous atmosphère d'azote.



Figure 1 : Pertes optiques des TeO2-ZnO-Na2O fibres mono-indice.

Références

[1] I. Savelii et al, "Suspended core tellurite glass optical fibers for infrared supercontinuum generation", Opt. Mater. 33 (2011) 1661-1666.

[2] J. S. Wang, et al, "Tellurite glass: a new candidate for fiber devices", Opt. Mater. 3 (1994) 187-203.

[3] E. Snitzer, E. M. Vogel and J. S. Wang, "Tellurite glass and fiber amplifier", U.S. Patent (1993) 5251062.

[4] E.N. Boulos and N.J. Kreidl, "Water in Glass: A Review", J. Can. Ceram. Soc., 1972, vol. 41, pp. 83-90.

Production de faisceaux accélérants arbitraires via une approche de caustique

A. Mathis, L. Froehly, R. Giust, F. Courvoisier, M. Jacquot, L. Furfaro, J. M. Dudley

Département d'optique P. M. Duffieux, Institu FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon Cedex, France

Les faisceaux accélérants exhibent une trajectoire courbe de leur maximum d'intensité. Bien que le premier type de faisceau accélérant fût découvert théoriquement par Berry et Balazs il y a plus de 30 ans [1], ce n'est que récemment que ces faisceaux furent observés expérimentalement [2]. Ces observations engendrèrent un intérêt croissant, et d'importantes applications : trapping, optique non linéaire et filamentation courbe sont les principaux sujets de recherche [3-5].



Figure 1 : Schéma de principe de la génération d'un faisceau accélérant, Ph. Mod. désigne un modulateur spatial de lumière

Expérimentalement, les faisceaux accélérants sont générés en appliquant un profil de phase approprié à un front d'onde incident. Bien que dans certains cas le profil de phase peut être calculé analytiquement, comme c'est le cas pour le faisceau d'Airy, dans le cas général le calcul doit se réaliser numériquement et reste un important problème.



Figure 2 : Comparaison entre le profil de la caustique et le faisceau propagé : (a) Profil parabolique avec les rayons générants la caustique,
 (b) est le faisceau correspondant à la phase propagée calculée à partir de (a). (c) profil hyperbolique. (d) faisceau correspondant propagé à partir de la phase φ(y) (e).

Nous proposons une nouvelle approche pour générer des faisceaux accélérants de profils arbitraires. Nous appliquons une méthode basée sur le problème inverse. Plus spécifiquement, nous considérons un faisceau accélérant se propageant selon l'axe x avec le profil désiré y(x). En considérant la caustique y(x) comme l'ensemble des rayons tangents, nous résolvons le problème inverse nous permettant de déterminer la loi de phase $\phi(y)$ à appliquer sur le front d'onde incident via un modulateur spatial de lumière. Les figures 2(a) et 2(b) sont les résultats obtenus par notre approche appliquée au cas bien connu d'un faisceau accélérant parabolique. La répartition d'intensité selon l'axe y dans un plan x est une fonction d'Airy modulée par le faisceau gaussien incident, ce qui valide notre approche. Cette technique est généralisable à divers profils y(x) comme l'attestent les figures 2(c) et 2(d) calculées dans le cas d'une caustique hyperbolique. Cette approche est valable dans le domaine hors paraxial, et ouvre de nouvelles perspectives en photonique.

Références :

[1] M. V. Berry ; « Nonspreading wae packets », Am. J. of Phys47, 264, (1979)

[2] G. A. Siviloglou, J. Broky, A. Dogariu and D. N. Christodoulides, "Observation of Accelerating Airy Beams", Phys. Rev. Lett 99, 213901 (2007)

[3] J. Baumgarti, M. Mazilu and K. Dholakia, "Optically mediated particle clearing using Airy wavepackets", Nat. Phot. 2; 675-678 (2008).

[4] D. G. Papazoglou, S. Suntsov, D. Abdollahpour and S. Tzortzakis, "Tunable intense Airy beams and tailored femtosecond laser filaments", Phys. Rev. A 81, 061807, (2010)

[5] P. Polynkin, M. Kolesik, J. V. Moloney, G. A. Siviloglou and D. N. Christodoulides, "Curved Plasma Channel Generation Using Ultraintense Airy Beams", Science 324, 229 (2009).

Double régénération tout-optique du profil temporel et de l'état de polarisation d'un signal RZ à 40 Gbit/s

Philippe Morin, Julien Fatome, Stéphane Pitois, Christophe Finot et Guy Millot

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS – Université de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary, BP 47870, 21078 DIJON Cedex

philippe.morin@u-bourgogne.fr

Avec le développement des systèmes de télécommunication par fibre optique à très hauts débits, diverses dégradations altèrent la propagation des signaux lumineux. Les causes des dégradations sont diverses. Elles peuvent être liées aux fluctuations de l'état de polarisation mais également à l'interaction entre les effets linéaires et non linéaires. Ici, nous montrons un dispositif tout-optique, entièrement fibré et basé sur l'effet non linéaire Kerr répondant à ces deux problématiques. Ce système combine, dans un unique segment de fibre, un attracteur de polarisation et un régénérateur d'intensité de type Mamyshev [1-2]. L'efficacité de ce dispositif "3R", pour "Repolarisation, Réamplification et Régénération", est testée grâce à la régénération d'un signal Retour-à-Zéro cadencé à 40 Gb/s. Le diagramme de l'œil du signal initial présente une quantité importante de défauts (Figure a). Le profil temporel du signal est asymétrique, une quantité non négligeable d'énergie est présente dans les bits de type zéro ainsi que des fluctuations importantes de la puissance crête. Les fluctuations de polarisation, induites par un brouilleur de polarisation, se manifestent par une distribution uniforme des points sur la sphère de Poincaré, chaque point représentant un état de polarisation donné. En présence d'un élément sensible à la polarisation, toutes les fluctuations de polarisation du signal sont converties en fluctuations d'intensité, d'où une fermeture totale du diagramme de l'œil (figure b). En sortie du système, en présence de la pompe contra-propagative, l'état de polarisation du signal est attiré et stabilisé et dans le domaine temporel, on observe une excellente remise en forme du signal avec un profil gaussien symétrique, la disparition des impulsions fantômes et la diminution de la gigue d'amplitude (figure c) [3].



Figures :Diagrammes de l'œil et état de polarisation de l'onde signal (a) après dégradations en intensité (b) après brouillage en polarisation et détecté après un polariseur (c) après régénération et détecté après un polariseur .

Références

[1] P. V. Mamyshev, "All-optical data regeneration based on self-phase modulation effect" in European Conference on Optical Communication, ECOC'98, p. 475-476, Madrid, Spain (1998).

[2] J. Fatome et al. "Observation of light-by-light polarization control and stabilization in optical fiber for telecommunication applications", Optics Express, **18**(11), p. 15311-15317 (2010).

[3] P. Morin et al, "All-optical nonlinear processing of both polarization state and intensity profile for 40 Gbit/s regeneration applications", Optics Express, **19**(18), p. 17159-17166 (2011)

Etude en champ proche optique de substrats-réseaux résonants

<u>Geoffroy Scherrer</u>¹, Jules Girard², Anne Sentenac², Anne Talneau³, Colette Dumas¹, Benoit Cluzel¹, et Frédérique de Fornel¹

¹ Groupe d'optique de champ proche, ICB, UMR CNRS 5209, 9 Avenue A. Savary BP 47870 21078 Dijon
 ² Equipe SEMO, Institut Fresnel, CNRS, Aix-Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, Campus de St Jérôme 13013 Marseille
 ³ Laboratoire de Photonique et Nanostructures, LPN-CNRS UPR-20, Route de Nozay 91460 Marcoussis

Geoffroy.Scherrer@u-bourgogne.fr

Les substrats-réseaux résonants associent une double approche entièrement diélectrique : ce sont des guides d'ondes présentant une nano structuration périodique bidimensionnelle. Leur propriété principale est de convertir une onde plane de fréquence spatiale relativement basse en une onde évanescente de haute fréquence spatiale. Ainsi ils sont conçus et optimisés pour présenter, sous illuminations particulières, des phénomènes de résonances qui génèrent, en surface, différentes figures d'ondes stationnaires (ou grilles de lumière) issues de l'interférence de plusieurs ondes évanescentes [1]. Selon le phénomène de résonance excité par l'illumination incidente, la grille de lumière créée présente une répartition de l'intensité du champ électrique qui peut être périodique ou multi périodique et dont une ou plusieurs périodes sont petites devant la longueur d'onde d'illumination (i. e. λ =633nm dans notre étude). Cette répartition de l'intensité du champ électrique est de nature évanescente et est donc localisée dans le champ proche de la surface des substrats-réseaux résonants.

Le but de notre étude est de démontrer expérimentalement le fonctionnement de ces substrats-réseaux résonants. Pour cela, nous allons générer les différentes grilles de lumière et les imager directement par une technique d'imagerie non soumise à la limite de diffraction : la microscopie en champ proche optique (SNOM) [2] [3] [4]. Les microscopes développés au sein du Groupe d'optique de champ proche de l'Université de Bourgogne sont dis à ouverture en mode collection et intègrent un système d'asservissement non optique par détection des forces de cisaillements. Nous utilisons un microscope avec une configuration à dépendance angulaire qui permet d'obtenir une illumination en réflexion totale interne au travers d'un prisme de verre hémicylindrique [5].

Les substrats-réseaux résonants ont été conçus et optimisés par l'équipe SEMO de l'Institut Fresnel ; les échantillons mesurés ont quant à eux été fabriqués au sein du Laboratoire de Photonique et Nanostructures.



Figure 1 : a) Caractéristiques géométriques des substrats-réseaux résonants ; b) Image MEB d'un échantillon fabriqué (vue en surface)

Références :

[1] A. Sentenac, K. Belkebir, H. Giovannini, P. C. Chaumet, J. Opt. Soc. Am. A 26, 2550 (2009)

[2] E. Abbe, Mikroskop. Anat. 9, 413 (1873)

[3] E.H. Synge, Phil. Mag. 6, 356 (1928)

[4] E.H. Synge, Phil. Mag. 13, 297 (1932)

[5] D. Brissinger, A. L. Lereu, L. Salomon, T. Charvolin, B. Cluzel, C. Dumas, A. Passian, F. de Fornel, Opt. Express **19**, 17750 (2011)

Nano-ouverture papillon comme sonde champ-proche nanopolarisante

M. Mivelle^{1, 2}, F. Baida¹, G.W. Burr², D. Nedelskovic³, D. Charraut¹, J-Y. Rauch¹, R. Salut¹, Thanh-Phong Vo⁴, Ali Belarouci⁴, Christian Seassal⁴, Ségolène Callard⁴, Xavier QUELIN⁵, Stéphanie Buil⁵, T. Grosjean¹

¹ FEMTO-ST CNRS UMR 6174, Université de Franche-Comté, Besançon, France
 ²IBM Almaden Research Center, San Jose, CA, USA
 ³ Lovalite s.a.s. 18 rue Alain Savary, 25000 Besançon
 ⁴INL Avenue Guy de Collongue F-69134 Cedex Lyon
 ⁵GEMaC 45 avenue des Etats unis 78035 cedex Versailles

mathieu.mivelle@femto-st.fr

Les récents progrès dans la fabrication à l'échelle nanométrique ont ouvert un nouvel et très prometteur champ de recherche : la nano-optique. Celle-ci met en rôle des phénomènes nouveaux à l'échelle sublongueur d'onde. Un de ces domaines de recherche fait appel à d'inventifs systèmes appelés nano-antennes [1]. Les nano-antennes sont aujourd'hui bien connues pour leur capacité à fortement concentrer la lumière à des échelles sublongueur d'onde. Leurs applications sont vastes, elles peuvent aller de l'augmentation de la fluorescence de nano-émetteurs [2], à la nano-lithographie [3], en passant par le piégeage optique [4], la nano-polarisation [5], ou encore l'optique non-linéaire [6]. Pour autant, l'étude du couplage entre nano-antennes (champ proche) et les modes guidés d'une fibre optique (champ lointain) n'a que très peu été développée [7-8].

Nous proposons ici de développer une nano-antenne unique, de type nano-ouverture papillon [9], comme nanocollecteur et nano-polariseur pour la microscopie en champ proche optique. Notre système consiste donc en une nano-ouverture papillon usinée dans une couche métallique déposée à l'extrémité d'une fibre optique monomode à $1.55 \mu m$ (figure 1 a) et b)). Il sera décrit dans la présentation une étude théorique et expérimentale de ce système en mode collection ainsi qu'une utilisation de ce système comme sonde locale pour la microscopie optique en champ proche (SNOM) sur des échantillons diélectriques que sont les cristaux photonique à mode de Bloch et à mode de cavité (figure 1 c)), de même que sur des échantillons plasmoniques.



Figure 1: Images MEB de la sonde fibrée à nano-ouverture papillon : (a) vue de côté et (b) agrandissement de la vue de face de l'extrémité de cette sonde. (c) Image optique en champ proche obtenue par la sonde à nano-ouverture papillon d'un cristal photonique à mode de cavité CL7, le papillon représente l'orientation de la nano-ouverture.

Ce travail a été soutenu par l'agence nationale de la recherche (ANR-07-NANO-036)

Références :

- [1] P. Bharadwaj et al. Advances in Optics and Photonics, Vol 1, 438,483, 2009.
- [2] J. N. Farahani et al. Phys. Rev. Lett, Vol. 95, 017402, 2005.
- [3] N. Murphy-DuBay et al. Opt. Express, Vol. 16, 2584-2589, 2008.
- [4] M. Righini. Nano Lett, Vol 9, 3387-3391, 2009.
- [5] P. Biagoni et al. Phys. Rev. B, Vol. 80, 153,409, 2009.
- [6] T. Hanke et al. Phys. Rev. Lett, Vol. 103, 257,404, 2009.
- [7] E. Smythe et al. Opt. Express, Vol. 15, 7439-7447, 2007.
- [8] T. Taminiau. Nano Lett, Vol 7, 28–33, 2007.
- [9] X. Jin. Appl. Phys. Lett. 88, 153110 2006

Microscopie champ proche multi photons

Jean Dellinger, Benoît Cluzel, Frédérique de Fornel

Groupe d'Optique de Champ Proche, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, CNRS, 9 Avenue A. Savary, 21078 Dijon, France

jean.dellinger@u-bourgogne.fr

La microscopie en champ proche optique permet d'analyser les phénomènes optiques avec une résolution spatiale sublongueur d'onde. Nous pouvons citer en exemple la localisation et la propagation de la lumière dans des cristaux photoniques [1], la propagation de plasmon de surface [2], ou bien la conversion de fréquence. D'une manière générale, les méthodes de microscopie en champ proche optique reposent sur le positionnement à l'échelle nanométrique d'une sonde locale à proximité de l'échantillon à analyser, puis sur la détection du signal diffusé et collecté lors du balayage de la sonde. En fonction du type de détection optique mise en œuvre ou du type de sonde utilisée, les grandeurs physiques communément accessibles par ces méthodes sont les distributions spatiales de l'amplitude et de la phase [3] ou de l'intensité des composantes électriques ou magnétiques du champ sondé [3,4].

Dans ce travail, nous présenterons la mise en place d'une détection champ proche « multiphoton » (fig 1) dans l'objectif de contrôler à l'échelle sublongueur d'onde les propriétés spectrales et spatiales de systèmes optiques miniaturisés tels que les cristaux photoniques ou plasmoniques. Au travers de différentes illustrations obtenues dans la bande spectrale visible -proche infrarouge (400nm-1700nm), nous évaluons la capacité de ce type de détection à quantifier les phénomènes dispersifs en régime linéaire et/ou non linéaire des nanostructures optiques qui sont pressenties pour être les futures briques de base des composants photoniques intégrés.



Fig 1 : Dispositif expérimental de la plateforme « multiphoton »

Références :

- [1] J. Dellinger, D Bernier, B Cluzel, X Le Roux, 2 A Lupu, 2F de Fornel, E Cassan, Optics Letters 36 (7) 1074 (2011)
- [2] L. Aigouy, P. Lalanne, J. P. Hugonin, G. Julié, V. Mathet, and M. Mortier, Phys. Rev. Lett. 98, 153902 (2007)
- [3] M. L. M. Balistreri, J. P. Korterik, L. Kuipers, and N. F. van Hulst, J. Lightwave Technol. 19, 1169- (2001)
- [4] L. Lalouat, B. Cluzel, C. Dumas, L. Salomon, and F. de Fornel, Physical Review b 83, 115326 (2011)

Characterization of thermo-optical 2x2 switch configurations made of Dielectric Loaded Surface Plasmon Polariton Waveguides for telecom routing architecture

K. Hassan¹, J.-C. Weeber¹, L. Markey¹, A. Dereux¹, A. Pitilakis², O. Tsilipakos², and E.E. Kriezis²

¹⁾ Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 Université de Bourgogne, 9 avenue A. Savary, F-21078 Dijon, France ²⁾ Department of Electrical and Computer Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki GR-54124, Greece

karim.hassan@u-bourgogne.fr

We report on experimental characterization of Dielectric Loaded Surface Plasmon Polariton Waveguide (DLSPPW) thermo-optic switches structures for high data bit rate transfer. The development of active components made of DLSPPWs is a promising ways to integrate photonics components on-chip. DLSPPWs are comprised of a dielectric ridge (usually a polymer) with a typical cross-section of 0.5x0.5 µm² deposited onto a thin metal film [1, 2]. The fundamental mode travelling along these waveguides is a plasmonic quasi-TM polarized mode. Many passives components based of DLSPPW have been demonstrated [3, 4] and an efficient coupling of DLSPPW waveguides with SOI optical circuitry has been reported [5]. Beyond passive components, dynamically controlled DLSPPW based devices are of practical interest. In this context, owing to the potentially large thermo-optical coefficient of the dielectric load, thermally activated DLSPPW devices have been proposed [6]. In this work, we focus onto thermally controlled switches relying on either X-add-drop or Dual Mode Interference configurations. The performances of the switches are extracted from leakage radiation microscopy images. The experimental characterizations reveal extinction ratio larger than 5dB over bandwidth larger than 4.5nm.



Figure 1: (a) Three different views of a Mutli-Mode Interferometer structure (schematic view, Scanning Electron Microscopy (SEM) image, and Leakage Radiation Microscopy (LRM) picture). (b) LRM images of the MMI device at two different temperature states and the corresponding spectra. (c) Schematic view of an X-Add-Drop switch configuration. (d) SEM picture of an X-Add-Drop switch structure. (e) LRM images of an X-Add-Drop device at two different temperature states.

Acknowledgment: This work was supported by the FP7 research program PLATON

References

[1] B. Steinberger et al., Dielectric stripes on gold as surface plasmon waveguides, Appl. Phys. Lett., 88, 094104 (2006).

[2] J. Grandidier et al., Dielectric-loaded surface plasmon polariton waveguides: Figures of merit and mode characterization by image and Fourier plane leakage microscopy, Phys. Rev. B, 78, 245419 (2008).

[3] J. Gosciniak et al., Thermo-optic control of dielectric-loaded plasmonic waveguide components, Opt. Express, 18 (2), 1207 (2010).

[4] K. Hassan et al., Thermo-optical control of dielectric loaded plasmonic racetrack resonators, J. Appl. Phys, 110, 023106 (2011).

[5] R. M. Briggs et al., *Efficient Coupling between Dielectric-Loaded Plasmonic and Silicon Photonic Waveguides*, Nano Lett., **10**, 4851 (2010).

[6] A. Pitilakis et al., Longitudinal 2×2 Switching Configurations Based on Thermo-Optically Addressed Dielectric-Loaded Plasmonic Waveguides, J. Ligthwave Technol., **29**, 2636 (2011).

Piégeage optique avec une microcavité Fabry-Pérot en SOI

Claude Renaut ^{1,2,3}, Jean Dellinger ¹, Benoit Cluzel ¹, David Peyrade ³, Emmanuel Picard ², Emmanuel Hadji ², Frédérique de Fornel ¹

 ¹Groupe d'Optique de Champ Proche-LRC CEA n°DSM-08-36, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR CNRS n°5209-Université de Bourgogne, 9, av. A. Savary, 21078 Dijon, France
 ²Laboratoire Silicium Nanoélectronique Photonique et Structures, INAC/SP2M/SiNaPS, CEA, 17, rue des Martyrs, 38054 Grenoble, France
 ³Laboratoire des Technologies de la Microélectronique, CNRS, 38054 Grenoble, France

claude.renaut@u-bourgogne.fr

Les microcavités Fabry-Pérot intégrées sur guide d'onde possèdent un grand facteur de qualité et un faible volume modal permettant ainsi un confinement spatial et spectral de la lumière $(Q/V_m=10^5)$ [1]. Cette localisation du champ électromagnétique due au confinement engendre des forces optiques qui peuvent être exploitées pour le piégeage ou le triage de nanoparticules [2]. Le système étudié ici consiste en une microcavité à miroirs à cristaux photoniques insérée dans un guide d'onde en silicium sur isolant [1] et placée dans une cellule optofluidique de PDMS (polydiméthylsiloxane). Cette cellule est réalisée en tenant compte des contraintes spatiales et mécaniques de l'expérience de spectroscopie en mode guidé, voir figure 1(a). La cellule microfluidique contient 4 μ L de solution colloïdale de polystyrène de 1 μ m et de dilution 3.33 10⁸ part/mL. Ce dispositif est scellé par une lamelle de microscope afin de permettre les observations *in situ* des interactions microcavité/colloïdes. Les étapes de fabrication des dispositifs seront reportées dans cette présentation et les observations directes du potentiel de piégeage optique de la cavité permettant l'immobilisation de microbilles de polystyrène en mouvement brownien seront présentées.



Figure 1 : Montage expérimental de piégeage optique (a) cellule optofluidique (b) banc de spectroscopie de mode guidé permettant l'enregistrement simultané de la vidéo et la transmission optique de la structure.

Références

[1] P. Vehla, "Ultra-High Q/V Fabry-Perot microcavity on SOI substrate" Optics Express, vol. 15, p. 16090, 2007.

[2] A. Rahmani, P. C. Chaumet, "Optical trapping near a photonic crystal" Optics Express, vol. 14, p. 6353, 2006.

Sources optiques picosecondes entièrement fibrées cadencées et stables à 20GHz et à 40GHz pour des applications à 160 Gbit/s

Ibrahim El Mansouri¹, Julien Fatome¹, Stéphane Pitois¹, Christophe Finot¹, Michel Lintz²

 ¹ Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS – Université de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary, BP 47870, 21078 DIJON Cedex
 ² Laboratoire ARTEMIS, UMR OCA/ CNRS 6162 – Université Nice Sophia-Antipolis, 06304 NICE

ibrahim.el-mansouri@u-bourgogne.fr

Les sources lasers émettant des impulsions ultra-courtes au voisinage de 1550 nm, avec un taux de répétition très élevé (> 10 GHz), sont maintenant largement employées dans de nombreuses applications scientifiques, notamment pour les systèmes de transmission par fibres optiques, pour l'échantillonnage optique ou encore pour le test de composants. La compression non-linéaire d'un battement sinusoïdal se propageant dans une fibre optique, en régime de dispersion anormale, est une technique simple et efficace pour générer de tels trains d'impulsions. Cette technique, basée sur un processus de mélange à quatre ondes multiple, a été employée avec succès afin de générer des trains d'impulsions à des taux de répétition compris entre 20 GHz et 1 THz [1]. Dans ces expériences, le signal sinusoïdal initial provenait du battement de deux lasers continus présentant une différence de fréquence égale au taux de répétition souhaité. Dans ce travail, nous proposons une approche différente basée sur l'utilisation d'une seule diode laser modulée en intensité par un modulateur électro-optique lui-même piloté par une horloge électrique externe. Cette méthode, qui minimise les fluctuations du taux de répétition, nous a alors permis de générer des trains d'impulsions très stables à 20 GHz et à 40 GHz possédant des gigues temporelles de l'ordre de 250 fs. Nous montrons également que cette stabilité peut encore être améliorée en compensant totalement la dispersion chromatique de la ligne de compression et/ou en introduisant un miroir de Faraday. Finalement, nous présentons la génération d'un signal à 160 Gbit/s par multiplexage temporel optique (OTDM) à partir d'un train d'impulsions à 40 GHz présentant un faible rapport cyclique [2].



Figure 1 : Montage expérimental de la source 40GHz et étage de multiplexage temporel optique pour la génération d'un signal à 160 Gbit/s. Les figures (1-a), (1-b), (2) et (3) correspondent aux profils temporels du montage sans DCF au point « 1 », avec DCF au point « 1 », au point « 2 » et au point « 3 » respectivement.

Références

[1] J. Fatome, S. Pitois, and G. Millot, "20-GHz to 1-THz repetition rate pulse sources based on multiple four wave mixing in optical fibers", IEEE J. Quantum Electron., vol. 42, pp. 1038–1046, 2006.
[2] I. El Mansouri, J. Fatome, C. Finot, M. Lintz, and S. Pitois "Group All-Fibered High-Quality Stable 20- and 40-GHz Picosecond Pulse Generators for 160-Gb/s OTDM Applications", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 23, pp.1487-1489, 2011.

Analyse de l'attraction de polarisation dans les fibres optiques en torsion et dans les fibres telecom

Elie Assémat

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS - Université de Bourgogne, 9 Av. A. Savary, BP 47 870, F-21078 DIJON Cedex, FRANCE

elie.assemat@u-bourgogne.fr

Cet exposé présente des avancées récentes dans la compréhension théorique des systèmes d'ondes contra-propagatives dans les fibres optiques. Depuis quelques années diverses études, aussi bien expérimentales [1] que théoriques [2], ont mis en lumière un effet d'attraction de polarisation dans ce type de système : la polarisation du signal est attirée vers la polarisation de la pompe. Ce phénomène permet donc de mettre au point des polariseurs ayant très peu de pertes, contrairement aux polariseurs standards. Nous présentons ici des résultats théoriques permettant de comprendre ce phénomène dans deux types de fibres : les fibres hautement biréfringentes avec torsion et les fibres avec biréfringence aléatoire utilisées dans les télécommunications.

Nous montrons que ce phénomène est associé à la présence de singularités, en effet le système spatio-temporel va relaxer vers une solution stationnaire au voisinage de ces singularités. L'étude de ces dernières permet de comprendre les aspects du phénomène déjà observés, tout en prédisant l'existence d'effets physiques jamais observés à l'heure actuelle. Notamment la possibilité dans les fibres avec torsion de générer une polarisation elliptique quelconque à partir de deux polarisations rectilignes.[3]



Figure : Attraction de polarisation dans les fibres hautement biréfringentes avec torsion. Les simulations numériques sont faites avec 64 états de polarisation différents pour le signal S(z=0), en vert, alors que la pompe est maintenue fixe J(z=L), en jaune. Le signal en sortie de fibre S(z=L), en rouge, est attiré par une ligne sur la sphère de Poincaré.

Références :

- [1] J. Fatome, S. Pitois, P. Morin, and G. Millot, *Observation of light-by-light polarization control and stabilization in optical fibre for telecommunication applications*, Opt. Express, **18** (15), 15311 (2010).
- [2] E. Assémat, S. Lagrange, A. Picozzi, H. R. Jauslin and D. Sugny, *Complete nonlinear polarization control in an optical fiber system*, Opt. Lett., **35** (12), 2025 (2010).
- [2] E. Assémat, D. Dargent, A. Picozzi, H. R. Jauslin and D. Sugny, *Polarization control in spun and telecommunication optical fibers*, Opt. Lett., **36** (20), 4038 (2011).

Mise en œuvre d'un système d'intrication de paires de photons dans le domaine fréquentiel

Ismael Mbodji¹, Laurent Olislager², Eric Woodhead³, Kien P. Huy¹, Serge Massar³ et Jean M. Merolla¹

¹ Institut FEMTO-ST, UMR 6174 CNRS – Université de Franche-Comté, 32 avenue de l'Observatoire, 25044 BESANCON Cedex

² Service OPERA-Photonique, CP 194/5, Université Libre de Bruxelles, Avenue F.D Roosevelt 50, B-

1050 Brussels, Belgium

³ Service OPERA-Photonique, CP 194/5, Université Libre de Bruxelles, Avenue F.D Roosevelt 50, B-

1050 Brussels, Belgium

ismael.mbodji@univ-fcomte.fr

L'intrication est un des aspects les plus fascinants de la mécanique quantique. Cette propriété est largement utilisée dans la distribution de clés quantiques et dans la manipulation de photons enchevêtrés en énergie-temps ou polarisation [1]. Cependant, les systèmes qui utilisent ces types d'enchevêtrement mettent souvent en œuvre des interféromètres de Mah-Zehnder déséquilibrés de plusieurs centimètres, dont la robustesse et la stabilité sont primordiales. C'est la raison pour laquelle, nous proposons une autre façon de faire en considérant ces états intriqués dans le domaine fréquentiel. Ainsi, nous suggérons l'utilisation de modulateurs de phase électrooptiques pour remplacer les interféromètres. Pour ce faire, on génère 2 photons par conversion paramétrique à 1547.736 à l'aide d'une source laser émettant un signal dit de pompe à773.86 nm. Pour chaque photon, le cristal de PPLN a une probabilité de produire une paire de photons intriqués qui seront directement envoyés à un coupleur 50/50. Avec une probabilité de ¹/₂, ces photons arrivent sur les modulateurs électro-optiques (MP₁, MP₂) auxquels on applique des signaux RF de fréquence $\Omega=25$ GHz. Ces signaux sont contrôlés en amplitude aux moyens d'atténuateurs variables et en phase grâce aux modulateurs (I, Q). Les filtres passe-bande (3 GHz) sélectifs associés aux photodiodes à avalanche (D ₁, D ₂) permettent de mesurer les coïncidences.



Figure 1 a) Schéma expérimental du démonstrateur b) Mesures de coïncidences.

En optimisant les paramètres d'amplitudes et de phase de l'oscillateur local, nous avons obtenu des interférences quantiques avec une visibilité brute de 99.17% \pm 0.11 et une nette violation du Clauser-Horne 74(CH74) de 2.4 \pm 0.021. Ainsi, nous montrons ici une technique de manipulation de paires de photons efficace, indispensable pour la distribution de clés quantiques [2].

Références

 J. Brendel, N. Gisin, W. Tittel, et H. Zbinden "Pulsed Energy-Time Entangled Twin-Photon Source for quantum communication," Phys. Rev. Lett., vol. 82, no 82, p. 2594, 1999.
 M. Bloch, S. W. Mc Laughlin, J.M Merolla, F. Patois, "Frequency-coded quantum key distribution" Optics Letters, 32, 301, (2007)

Communications par affiches

Moteur quantique basé sur le contrôle de la distribution angulaire d'une molécule par impulsion laser

Nicolas BERTI

Stage M1, responsable : Stéphane Guérin, co-encadrant : Marc Lapert Master Physique-Laser-Matériaux, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), Université de Bourgogne, 9 av. Alain Savary, 21000 Dijon, France

L'étude de la dynamique rotationnelle des systèmes moléculaires connait un intérêt grandissant depuis une vingtaine d'années. Les impulsions ultra-courtes des lasers femtosecondes permettent d'étudier leur rotation et dans une certaine mesure de la contrôler, comme par exemple leur alignement suivant un axe de laboratoire (polarisation du champ laser), car leurs durées sont bien inférieures au temps typique de rotation (de l'ordre de quelques dizaines de picosecondes) [1,2].

Le concept de moteur quantique proposé ici se base d'une part sur la délocalisation en plusieurs lobes du paquet d'onde angulaire dans un plan, et d'autre part sur le mouvement rotationnelle effectué par l'ensemble du système (figure 1) [3,4].



Il est possible, grâce à une succession de 2 impulsions lasers ultra-courtes, polarisées perpendiculairement l'une de l'autre, enchaîné par une troisième impulsion polarisée à $\pi/4$ des deux premières de se rapprocher de la dynamique d'un tel moteur quantique (figure 2) [5].



Figure 2 : Evolution chronologique en champ libre du paquet d'ondes angulaire après la 3^{ème} impulsion

Références :

V. Renard, M. Renard, S. Guérin, Y.T. Pashayan, B. Lavorel, O. Faucher, and H.R. Jauslin, *Postpulse molecular alignment measured by weak field polarization technique*, Physical Review Letters 90, 153601 (2003)
 D. Daems, S. Guérin, E. Hertz, H.R. Jauslin, B. Lavorel, and O. Faucher, *Field-free two-direction alignment alternation of linear molecules by elliptic laser pulses*, Physical Review Letters 95, 063005 (2005).

[3] M. Lapert, S. Guérin, and D. Sugny. *Field-free quantum cogwheel by shaping of rotation wave packets*. Physical Review. A 83, 013403 (2011).

[4] M. Lapert, E. Hertz, S. Guérin, and D. Sugny. *Field-free permanent molecular planar alignement*. Physical Review. A 80, 051403 (2009).

[5] Y. Khodorkovsky, K. Kitano, H. Hasegawa, Y. Ohshima, and I.S. Averbukh. *Controlling the sense of molecular rotation : Classical versus quantum analysis.* Physical Review A 83, 023423 (2011).

Cristaux photoniques LiNbO₃ sur ridges : vers les microcomposants accordables 3D

Nadège Courjal, Gwenn Ulliac, Jean Dahdah, Blandine Guichardaz, Clément Guyot, Hui-Hui Lu, Maria-Pilar Bernal, Benattou Sadani et Fadi Baida

Institut FEMTO-ST, Université de Franche-Comté, UMR CNRS 6174, 25030 Besançon, France

Nadege.bodin@univ-fcomte.fr

Mots-clefs : niobate de lithium, cristaux photoniques, microguides

Graver des cristaux photoniques sur niobate de lithium offre de nombreux attraits pour l'intégration dense de micro-composants commandables [1]. Le développement de cavités ou de guides photoniques LiNbO₃, obtenus par l'introduction d'un ou de plusieurs défauts dans la matrice photonique, ouvrirait des perspectives intéressantes notamment pour la réalisation de microcapteurs [2]. Mais les guides classiques (diffusés titane, ou échangés H+) intégrés sur niobate de lithium sont faiblement confinés, et donc difficiles à coupler avec des cavités photoniques. Pour pallier ce faible confinement, il est possible de graver le substrat de part et d'autre du guide de façon à obtenir une structure de type « ridge » (crête) procurant un fort contraste d'indice latéral. Nous avons proposé récemment un procédé qui permet de réaliser des ridges quasi-verticaux et à hauts facteurs de forme à partir de deux traits de scie (dans des conditions de découpe-polissage) [3]. Nous montrons ici les premiers résultats de cristaux photoniques intégrés sur ces ridges, et comment ils ouvrent la voie vers les cristaux LiNbO3 3D.

Les résultats présentés en figures 1 sont obtenus à partir de guides planaires obtenus par une diffusion titane sur des substrats en coupe X, et découpés « optiquement » ensuite à la scie de précision (DISCO DAD 321). Cette technique de « découpe-polissage » permet de réaliser des ridges à très hauts facteurs de forme, dont une illustration est donnée en figure 1(a) : nous avons réussi à graver des ridges de 1µm de large sur des profondeurs pouvant aller jusqu'à 526µm, avec une quasi-verticalité des flancs. Les figures 1 (b) et (c) montrent respectivement les premiers réseaux de Bragg et cristaux photoniques gravés par FIB sur ces ridges profonds. Les premières mesures de transmission au travers des structures photoniques intégrées sur ridges profonds (35µm) sont illustrées en figure 1(e). Elles montrent qu'une cavité photonique de longueur inférieure à 10µm permet d'obtenir une extinction de -14dB. La pente irrégulière décroissante de 1200nm à 1600nm s'explique par le fait que les deux polarisations (TE et TM) guidées sont soumises à des indices de réfraction différents, et donc à des bandes interdites décalées en longueur d'onde. En figure 1(d), nous montrons comment, en usinant le ridge sur le flanc et au sommet par Faisceau Ionique Focalisé (FIB : Focused Ion Beam), on parvient à réaliser des cristaux photoniques LiNbO₃ 3D.



Fig. 1: (a) à (d): Images MEB des microstructures réalisées par découpe-polissage + FIB sur des guides ridges. (a) : Membranes fines de 526µm de haut avec une épaisseur pouvant descendre jusqu'à 1µm (cf zoom à droite de l'image). (b) : Réseau de Bragg de 30 sillons de 1018nm de période, de rapport cyclique 0.5. (c) Cavité photonique sur un ridge de 35µm de profondeur. (d) cristal photonique LiNbO3 3D. (e) Transmission large bande au travers de la cavité photonique représentée en 1(c) normalisée par la transmission au travers du même guide non gravé.

Les travaux sont actuellement en cours pour optimiser le confinement vertical dans les ridges, et pour tester les premiers cristaux photoniques 3D LiNbO3 nanostructurés par FIB.

Références :

[1] N. Courjal, M.-P. Bernal, G. Ulliac, J. Dahdah, S. Benchabane, J.-M. Merolla, *Journal of the European Optical Society - Rapid publications*, vol. 4, pp. 09018 (2009)

[2] N. Courjal, B. Guichardaz, G Ulliac, J.-Y. Rauch, B. Sadani, H.-H. Lu, M.-P. Bernal, J. Phys. D: Appl. Phys. vol. 44 305101 (2011)
[3] N. Courjal, J. Dahdah, G. Ulliac, P. Sevillano, B. Guichardez and F. I. Baida, Accepté, Optics Express 153211 (2011)

Les développements technologiques sont co-financés par la DGA (projet REI MUSARAIGNE.) et la Région Franche-Comté

Source de photons uniques couplée à une nanostructure plasmonique.

Stéphane Derom, Alexandre Bouhelier, et Gérard Colas des Francs

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, Département Nanosciences 9, Avenue Alain Savary, BP 47870 F-21078 Dijon Cedex

Stephane.Derom@u-bourgogne.fr, alexandre.bouhelier@u-bourgogne.fr, gerard.colas-des-francs@u-bourgogne.fr

Les particules métalliques peuvent supporter des modes extrêmement confinés, appelés plasmons. Ces modes assurent un couplage efficace avec des molécules individuelles et conduisent à des exaltations importantes des signaux de fluorescence ou Raman. De nombreuses applications sont escomptées pour améliorer la sensibilité de capteurs biochimiques ou, de manière plus prospective, le rendement de source de photons uniques [1,2].

Ce travail de thèse porte sur le couplage d'une source de photons uniques avec des nanostructures plasmoniques. La source est un nanodiamant avec une lacune d'azote très utilisée en raison de sa photostabilité [2,3]. La figure 1(a) montre la fonction d'autocorrélation d'ordre 2 ($g^2(\tau)$) qui caractérise la probabilité d'émettre un photon un instant τ après l'émission d'un premier photon. Le trou à $\tau=0$ traduit l'émission de photons un par un (« dégroupement de photons »).

En parallèle de cette étude expérimentale, nous menons des simulations numériques. La figure 1(b) montre que le couplage à une nanobille d'or peut conduire à une accélération de l'émission des photons. En effet, le temps caractéristique τ_A à partir duquel un deuxième photon peut être émis diminue notablement par couplage avec la nanostructure plasmonique.

L'objectif suivant est l'étude expérimentale de ce couplage nanodiamant-nanobille...



Figure 1: (a) Mesure expérimentale de la fonction $g^2(\tau)$ pour un nanodiamant. La valeur nulle des coïncidences pour un retard τ nul démontre qu'il n y a qu'un émetteur de photon au sein du nanodiamant. (b) Calcul de la fonction $g^2(\tau)$ pour un émetteur fluorescent à distance **d** d'une nanoparticule d'or.

Références

 S. Schietinger, M. Barth, T. Aichele, and O. Benson, "Plasmon-Enhanced Single Photon Emission from a Nanoassembled Metal–Diamond Hybrid Structure at Room Temperature", Nano Lett, Vol. 9, p. 1694, 2009.
 R. Marty, A. Arbouet, V. Paillard, C. Girard, and G. Colas des Francs, "Photon antibunching in the optical near field", Phys. Rev. B, vol. 82, 081403, 2010.

[3] R. Brouri, A. Beveratos, J.-P. Poizat, and P. Grangier, "Photon antibunching in the fluorescence of individual color centers in diamond", Opt. Lett, vol. 25, p. 1294, 2000.

Compression spectrale d'impulsions

Benoit Frisquet^{1,a}, Christophe Finot^{1,b}

¹ Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS – Université de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary, BP 47870, 21078 DIJON Cedex

^a <u>benoit_frisquet@etu.u-bourgogne.fr</u>, ^b <u>cfinot@u-bourgogne.fr</u>

L'obtention de spectre fin sans utiliser de filtre optique classique peut être réalisée par l'utilisation d'une fibre optique. Nous pouvons définir le facteur de compression étant égale à la largeur totale à mi-hauteur du spectre de l'impulsion initiale par la largeur totale à mi-hauteur du spectre de l'impulsion finale. Des recherches dans les années 90 ont montré qu'il était possible de comprimer un train d'impulsion avec une fibre non-linéaire, cependant les facteurs de compression restaient relativement modestes, de l'ordre de 4 [2]. De plus, le résultat était affecté par la présence de piédestaux assez importants dans le spectre recomprimé [1]. Nous avons cherché à améliorer ces résultats en exploitant les technologies des télécommunications optiques (voir le montage Figure 1.a). Ainsi, à partir d'un train d'impulsion à 10 GHz à λ =1550 nm, d'une largeur totale à mi-hauteur de 2,7ps, d'une fibre à dispersion anormale (fibre SMF), et d'une fibre hautement non-linéaire (HNLF), nous avons pu réaliser la compression spectrale avec un facteur de compression maximum d'environ 10. En injectant dans la fibre une puissance maximum de 1W (soir une énergie par impulsion de 100pJ). Nous sommes passés d'une source qui avait un spectre d'une largeur de 110 GHz à un spectre faisant seulement 11 GHz. Pour ces puissances, le spectre devient assez instable en raison de la diffusion Brillouin, pour enrayer cet effet négatif, nous avons du recourir à un modulateur de phase. Malheureusement, nous avions des piédestaux qui demeuraient présents mais qui pourraient être limités davantage si nous exploitions des impulsions de profil parabolique. L'ensemble des résultats expérimentaux obtenus sont confirmés par des simulations numériques basées sur l'équation de Schrödinger Non-Linéaire (Figure 1.b).



Figure 1 : a) (à gauche) Montage expérimentale. b) (à droite) Comparaison du spectre obtenu pour une puissance de 27 dBm théorique et expérimentale.

Références

 E.R. Andresen, J.M. Dudley, D. Oron, C. Finot, and H. Rigneault. Transform-limited spectral compression by self-phase modulation of amplitude-shaped pulses with negative chirp. *Optics Letters*, 36(5):707–709, 2011.
 M. Oberthaler and RA Hopfel. Special narrowing of ultrashort laser pulses by self-phase modulation in optical fibers. *Applied physics letters*, 63(8):1017–1019, 1993.

Imagerie ultra-rapide à travers les milieux diffusants par conjugaison de phase

Mischa Guillerm¹, Fabrice Devaux¹, Luc Froehly¹, Luca Furfaro¹ et Eric Lantz¹

¹ Institut FEMTO-ST, UMR 6174 CNRS – Université de Franche-Comté, 32 avenue de l'Observatoire, 25044 BESANCON Cedex

mischa.guillerm@univ-fcomte.fr

Souvent considérés comme une source de bruit, les photons multi-diffusés ont été récemment utilisés pour complémenter les photons balistiques pour de l'imagerie à travers les milieux diffusants [1] ou les ultrasons [2]. Si lors d'un passage à travers l'échantillon la lumière diffusée bruite l'image, il est possible de supprimer la tache de diffusion par un second passage de la lumière à travers le milieu diffusant. En effet, le caractère déterministe de la diffusion implique que les photons diffusés vont parcourir le « chemin » emprunté à l'aller en sens inverse, à condition d'inverser leur vecteur d'onde. Dans [1,2] cette condition est réalisée par conjugaison de phase avec des cristaux photoréfractifs aux dynamiques lentes ce qui limite l'étude aux milieux statiques. Nous présentons un dispositif d'imagerie par conjugaison de phase par amplification paramétrique à dynamique ultra-rapide (nanoseconde), en dessous du temps de décorrélation des milieux biologiques. Deux expériences à travers des échantillons épais et minces sont présentées et systématiquement comparées avec de l'imagerie directe. Dans l'expérience à travers un milieu épais (1 cm), de libre parcours moyen de diffusion Ls=0.1 cm, l'image d'un chiffre est parfaitement reconstruite. Toutefois en imagerie directe nous arrivons à réaliser une image à travers un milieu de même épaisseur mais plus diffusant (Ls=0.06 cm). Ceci s'explique par la conjugaison de phase incomplète de l'onde diffusée, d'une part à cause des dimensions finies du cristal et de l'acceptance angulaire limitée de l'accord de phase, et d'autre part à cause de la forte divergence de l'onde en sortie du milieu diffusant. Pour quantifier la portion de l'onde diffusée conjuguée en phase nous introduisons l'étendue optique, $E=S.\Omega$ comme le produit de la surface de l'onde par l'angle solide. En comparant l'étendue optique de l'onde conjuguée en phase avec l'étendue de l'onde diffusée, nous observons que seule une très faible partie de l'onde diffusée est conjuguée en phase. Nous présentons ensuite une deuxième expérience ou nous avons cherché à drastiquement augmenter la portion de l'onde conjuguée en phase. Pour cela nous avons cherché à réduire l'étalement de l'onde en sortie de milieu diffusant (S) en sélectionnant d'une part un milieu mince (20 µm) et d'autre part en formant une image réduite de l'objet sur la face avant de l'échantillon à l'aide d'un objectif de microscope. Afin d'augmenter l'angle solide Ω de l'onde collecté par le cristal un deuxième objectif de microscope est placé après le milieu diffusant. Ce dispositif augmente d'un facteur 400 la portion de l'onde conjuguée en phase mais nous ne réalisons pas mieux que l'imagerie directe, du fait de l'effet « rideau de douche »[3] qui permet de transmettre une image directe même lorsque le milieu est diffusant. L'utilisation d'échantillons entre ces deux épaisseurs extrêmes, qui conviennent au nombre de modes supporté par l'accord de phase, est à l'étude.

Références

[1] «Optical phase conjugation for turbidity suppression in biological samples», Z. Yaqoob et. al., Nature Photonics 2 (2008).

[2] «Time-reversed ultrasonically encoded optical focusing into scattering media», X. Xu et. al., Nature Photonics (2011).

[3] «Experimental investigation of the influence of the relative position of the scattering layer on image quality: the shower curtain effect », I. Dror et. al., JOSA 37 (1998).

Doublage et quadruplage du taux de répétition d'un train impulsionnel

Romain Guyard, Ibrahim El Mansouri, Julien Fatome et Christophe Finot

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS – Université de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary, BP 47870, 21078 DIJON Cedex

romain_guyard@etu.u-bourgogne.fr

Les sources lasers à impulsions ultracourtes de longueur d'onde voisine de 1,5 µm et ayant un taux de répétition de plusieurs dizaines de gigaHertz sont employées dans de nombreuses applications scientifiques, tels que l'échantillonnage optique ou les systèmes de transmission par fibre optique. L'objectif de notre stage était ainsi d'élaborer un dispositif tout optique générant des impulsions ultra brèves de l'ordre de la picoseconde et ayant une fréquence de répétition de 40 GHz. Pour surmonter les limitations dues à la bande passante des composantes optoélectroniques, nous sommes partis d'un battement optique sinusoïdal de 40 GHz (généré par une horloge électronique à 20 GHz) qui évolue progressivement à travers 4 fibres judicieusement choisies vers le profil recherché. [1]-[2] Cette évolution est régie par une combinaison subtile des effets non-linéaires et linéaires intervenant dans la fibre. Une fois ce dispositif expérimental mis en place et validé, nous avons doublé et quadruplé le taux de répétition du train impulsionnel de 40 GHz à l'aide de l'effet Talbot agissant dans un segment additionnel de fibre. Le montage final obtenu est présenté Figure 1(a). Les propriétés du dernier segment (noté SMF 3 dans la Figure 1 (a)) ont notamment été soigneusement optimisées numériquement puis vérifiées expérimentalement en réalisant le doublage et le quadruplage du taux de répétition (résultat donnés Figure 1(b)).Nous avons donc pu démontrer la faisabilité d'une source haute fréquence (80 GHz ou 160 GHz) à bas coût délivrant des impulsions ultracourtes de l'ordre de la picoseconde dans la bande télécom.



Figure 1: (a) Montage expérimental, (b) Comparaison entre le profil temporel obtenu expérimentalement et théoriquement pour une fréquence de 160 GHz.

Références :

C.Finot, J.Fatome, S.Pitois, and G.Millot, "All-Fibered High-Quality Low Duty-Cycle 20-GHz and 40 GHz Picosecond Pulse Sources," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol 19, no 21, pp.1711-1713, 2007.
 I. El Mansouri, J.Fatome, S.Pitois, C.Finot, et M.Lintz, "Génération d'une source d'impulsions picoseconde cadencées à 40 GHz par compression non linéaire d'un battement sinusoïdal", 30^{ème} Journées Nationales d'Optique Guidée Marseille, 4-7 Juillet 2011.

La nano-antenne magnétique Diabolo

M. Mivelle^{1*}, T. Grosjean¹, F.I. Baida¹, G.W. Burr³ and U.C. Fischer²

¹Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Université de Franche-Comté, Besançon, France ²Physikalisches Institut, Universität Münster, 48149 Münster, Germany ³IBM Almaden Research Center, San Jose, CA, USA

*mathieu.mivelle@femto-st.fr

La nano-antenne à géométrie papillon formée par deux triangles métalliques a montré d'intéressantes propriétés d'émission et/ou de détection du champ électrique local associé à une onde électromagnétique. Eclairée par une onde plane, cette nano-antenne présente un intense confinement du champ électrique dans l'entre fer séparant les deux triangles métalliques [1-3] (figure (a)). Une nano-antenne présentant les mêmes caractéristiques d'exaltation du champ magnétique est décrite dans ce papier.

En s'inspirant du principe de Babinet qui est valable uniquement pour des couches infiniment minces de métal parfait, nous proposons le complémentaire de la nano-ouverture à géométrie papillon, la nano-antenne diabolo [4]. Cette dernière est composée de deux triangles métalliques se faisant face mais reliés par un gap métallique (figure (b)). Il s'agit donc bien d'une structure complémentaire à celle de la nano-ouverture papillon. Ceci fera l'objet d'une démonstration théorique à travers des simulations numériques. En effet, celle-ci permet la génération d'un point chaud magnétique à proximité du gap métallique de l'antenne (figure (c)), tout comme la nano-antenne papillon génère un point chaud électrique à l'intérieur de son gap diélectrique. De plus comme la nano-antenne papillon, cet effet d'exaltation du champ magnétique dépend fortement de la polarisation de l'onde excitatrice. L'origine électromagnétique de la création de ce point chaud magnétique sera décrite, ainsi que les performances de cette nouvelle nano-antenne qui pourra être utilisée dans différents domaines telle que la détection de champ magnétique aux longueurs d'onde optique, ainsi que des applications dans de nouveaux types de nano-sources et/ou nano-senseurs pour la magnéto-optique et la spectroscopie magnétique aux longueurs d'ondes optiques.



(a): Schéma de la nano-antenne à géométrie papillon, (b) schéma de la nano-ouverture papillon et de son complément la nano-antenne Diabolo et (c) répartition de l'intensité magnétique transmission à 10 nm de la nano-antenne diabolo en or (épaisseur et gap métallique de 50 nm) éclairée à incidence normale par une onde plane polarisée selon y.

Références :

- [1] R. Grober, et al Appl. Phys. Lett. 70, 1354 (1997)
- [2] P.J. Schuck et al Phys. Rev. Lett. 94, 017402 (2005)
- [3] X. Jin et al. Appl. Phys. Lett. 88, 153110 (2006)
- [3] T. Grosjean et al. Nanoletters. 11, 1009-1013 (2011)

Détection de l'intrication par la mesure des fluctuations spatiales dans des images : Premiers résultats expérimentaux

Joé Mougin-Sisini, Eric Lantz, Fabrice Devaux

Institut FEMTO-ST, Département d'optique P.M. Duffieux UMR n°6174 CNRS-Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France

joe.mougin@femto-st.fr

Nous avons mesuré des corrélations sous le seuil quantique dans les fluctuations spatiales, à la fois en champ proche et en champ lointain, pour des images de fluorescence d'un cristal de BBO type II. Les images ont été réalisées en régime de comptage de photons avec une caméra EMCCD (Electron-Multiplying CCD).

Dans des papiers récents [1,2], nous avons démontré expérimentalement, à l'aide d'une caméra EMCCD dans le régime de comptage de photons, que en champ lointain les sections opposé des fluctuations spatiale de la fluorescence paramétrique de type I était corrélé dans le régime quantique avec une variance de la différence du nombre de photons entre des pixels opposés sous le bruit quantique. Pour démontrer l'intrication, il nous faut de plus montrer des corrélations quantiques entre le signal et l'idler dans le champ proche. Nous sommes donc pour cela passé a une fluorescence paramétrique de type II dans du BBO, afin de pouvoir séparer les photons signal et idler.

En champ lointain, l'expérience est la même que celle en type I [1,2]. La figure 1 montre la somme de 50 images de fluorescence paramétrique prisent avec notre EMCCD. Pour chaque image la moyenne est de 0.13 photon/pixel. Les statistiques sont réalisées dans les régions offrant de l'intérêt (ROI 1 et 2) par la mesure dans chaque image de la variance de la différence σ^2_{S-I} et en la divisant par la somme des moyennes $m_S + m_I$, nous appliquons aussi une correction à cause des détections binaires [1]. Sur une serie de 50 images, on obtient $\langle \sigma^2_{S-I}/(m_S + m_I) \rangle = 0.91 \pm 0.02$, soit 0.9 dB sous le « shot noise », avec le montage en champ proche (fig 2 et 3) on obtient : $\langle \sigma^2_{S-I}/(m_S + m_I) \rangle = 0.96 \pm 0.03$.





Références :

[1] J. L. Blanchet, F. Devaux, L. Furfaro, E. Lantz, *Phys. Rev. Lett.*, **101**, 233604, 2008
[2] J. L. Blanchet, F. Devaux, L. Furfaro, E. Lantz, *Phys. Rev. Lett.*, 81, 43825, 2010

Retard optique accordable par amplification Paramétrique dans les fibres optiques fortement biréfringentes

Nour Nasser, Gil Fanjoux, Eric Lantz et Sylvestre Thibaut

¹ Institut FEMTO-ST, UMR 6174 CNRS – Université de Franche-Comté, 32 avenue de l'Observatoire, 25044 BESANCON Cedex

gil.fanjoux@univ-fcomte.fr

Le processus de lumière lente ou rapide (slow- ou fast-light) dans les fibres optiques fait actuellement l'objet de nombreuses recherches internationales afin de générer des lignes à retard tout optique [1]. Le phénomène SFL induit par l'amplification paramétrique assistée par Raman a été étudié récemment dans une fibre à dispersion décalée (DSF) [2]. Dans notre travail, nous proposons d'utiliser la nature vectorielle du processus paramétrique afin de démontrer théoriquement que des délais optiques accordables peuvent également être obtenus par amplification paramétrique d'une impulsion signal induite par une pompe polarisée à 45° des axes de biréfringence d'une fibre optique fortement biréfringente. Analytiquement, à partir des équations de Schrödinger non linéaires couplées (CNLSE) régissant les amplitudes du signal et de l'idler, nous avons déduit les paramètres complexes de gain paramétrique g_s du signal et g_i de l'idler. Les parties réelles des ces paramètres agissent sur les amplitudes des champs signal et idler et correspondent au gain paramétrique, alors que les parties imaginaires agissent sur leurs phases et induisent donc une dispersion non linéaire responsable du processus de lumière lente ou rapide. Des simulations numériques de propagation d'impulsions basées sur les CNLSE montrent également que le processus de lumière lente compense parfaitement le délai linéaire dû à la biréfringence et à la dispersion au cours de la propagation comme prévu analytiquement par nos équations (voir Fig. (1)), et ceci aussi bien en régime de dispersion normale qu'anormale. En outre, les simulations montrent que l'impulsion idler générée spontanément et accordé en vitesse de groupe avec le signal est accélérée (Fig. (1)). Ce système permet d'obtenir des délais optiques conséquents en fonction du gain paramétrique et de la longueur de fibre (Fig. (2)).



Figure 1: (a) Profils numériques normalisés en sortie de fibre (b) délai optique en fonction de la distance de propagation, pour les impulsions signal en régime linéaire (bleu), en régime non linéaire (rouge), et pour l'idler généré spontanément (vert). Les paramètres des simulations sont : λ_p =532nm; β_2 =65.69 ps².km⁻¹; δ =2 ps.m⁻¹; γ =45 W⁻¹.km⁻¹; P=100W and L=10m.



Figure 2 : Délai optique en fonction du gain paramétrique et pour différentes longueurs de fibre. La durée de l'impulsion signal à l'entrée de la fibre est 1ns. Les paramètres sont : $\lambda_p=1550$ nm; $\beta_2=-60$ ps².km⁻¹; $\delta=2$ ps.m⁻¹; $\gamma=5W^{-1}$.km⁻¹.

Références

- [1] "Slow light science and applications", J. B. Khurgin and R.S. Tucker Ed. (CRS Press, Taylor & Francis group, 2009).
- [2] D. Dahan and G. Eisenstein, "Tunable all optical delay and fast light propagation in a Raman-assisted fiber optical pramétric amplifier: a route to all optical buffering", *Opt.Express* 13, 6234-6249 (2005).
- [3] N. Nasser, G. Fanjoux, E. Lantz, T. Sylvestre "Tunable optical delay using parametric amplification in highly birefringent optical fibers", J. Opt. Soc. Am. B 28, 2352-2357(2011).

Information Quantique avec des Ions Piégés

Benjamin Rousseaux, Stéphane Guérin

Master Physique-Laser-Matériaux, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), Université de Bourgogne, 9 av. Alain Savary, 21000 Dijon, France

benjamin_rousseaux@etu.u-bourgogne.fr

L'information quantique connaît un essor depuis les années 90, et présente des perspectives alternatives intéressantes à l'informatique électronique. De nos jours, on sait implémenter des portes quantiques simples à l'aide d'une cavité QED (*Quantum Electrodynamics*) couplé à un champ laser par exemple [1]. On cherche de nos jours à construire des opérations élémentaires avec un piège à ions qui est un dispositif présentant l'avantage de procédés de microfabrication permettant l'utilisation de plusieurs qubits [2].

Un algorithme nécessite en général un très grand nombre de portes (comme l'algorithme de Grover permettant une recherche dans une base de données à N éléments en $N^{1/2}$ étapes, l'algorithme de Fourier quantique, la factorisation,...) [1]. Une idée qui émerge récemment consiste à piloter un processus par laser reproduisant un algorithme donné le plus directement et rapidement possible sans passer par une décomposition en portes élémentaires [3].



Figure 1 : Géométrie du piège de Paul linéaire

Nous étudions ici les possibilités théoriques du piège à ions (piège de Paul), en termes de calcul quantique rapide, pour lequel les ions sont couplés par des phonons décrivant leur vibration selon l'axe du piège. On s'intéressera, en particulier, à l'implémentation d'un algorithme quantique qui change une superposition d'états en sa transformée de Fourier quantique, en régime adiabatique (permettant d'effectuer l'opération de façon robuste). Le processus, effectué sur les deux états de base à zéro phonon $|0,1;0\rangle$ et $|1,0;0\rangle$, est piloté avec un jeu d'impulsions laser permettant un passage adiabatique par processus Raman stimulé (STIRAP) et STIRAP inverse.

Figure 2 : Schéma d'un système de deux ions couplés à un état intermédiaire $|1,1;1\rangle$ à un phonon disponible. Le laser S est un Stokes et les lasers P_1 et P_2 sont des pompes. On note l'état $|i, j;k\rangle$ où i est l'état du premier ion, j l'état du deuxième et k le nombre de phonons dans le piège.



Références :

 M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information* (Cambridge University Press, UK, 2010)
 M. D. Hughes, B. Lekitsch, J. A. Broersma et W. K. Hensinger, *Microfabricated Ion Traps*, arXiv : 1101.3207v1 [quant-ph], 2011.
 D. Daems and S. Guérin, *Adiabatic Quantum Search Scheme With Atoms In a Cavity Driven by Lasers*, Phys. Rev. Lett. 99, 170503 (2007).

Suppression de l'effet Brillouin dans une fibre optique microstructurée périodique

Birgit Stiller¹, Min Won Lee¹, Michaël Delqué², Géraud Bouwmans³, Alexandre Kudlinski³, Jean-Charles Beugnot¹, Hervé Maillotte¹ et Thibaut Sylvestre¹

¹ Institut FEMTO-ST, UMR 6174 CNRS – Université de Franche-Comté, 32 avenue de l'Observatoire, 25044 BESANCON Cedex
²Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS – Université de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary, BP 47870, 21078 DIJON Cedex
³Université Lille 1, IRCICA, Laboratoire PhLAM, 59655 Villeneuve d'Ascq, France

birgit.stiller@femto-st.fr

Afin de répondre à l'augmentation significative des puissances optiques dans les systèmes de télécommunications par fibre optique et dans les lasers à fibre, d'importants efforts de recherche ont été consentis au cours de ces dernières années. Les études portent notamment sur des nouvelles techniques de suppression directe et passive de l'effet Brillouin stimulé qui limite fortement les puissances optiques véhiculées dans les fibres optiques. Dans ce travail, nous présentons une fibre optique microstructurée avec un diamètre oscillant qui permet de supprimer efficacement la diffusion Brillouin stimulée [1]. Nous avons obtenu un accroissement de 4 dB du seuil en faisant varier périodiquement le diamètre de cœur de seulement 7 %. Nous présentons une caractérisation détaillée de cette FOM et également une mesure distribuée de sa fréquence Brillouin oscillante à l'aide d'une nouvelle technique de cartographie basée sur les échos Brillouin [2], qui est démontrée dans la Fig.1. Le seuil Brillouin mesuré sera ensuite comparé au seuil calculé théoriquement pour une fibre uniforme [3] et la variation périodique de l'indice effectif du mode fondamental de la fibre sera estimée par des simulations numériques basés sur l'image MEB de la fibre.



Figure 1 : Mesures distribuées du gain Brillouin en fonction de la distance de propagation dans la fibre optique microstructurée périodique par la méthode des échos Brillouin. (a) cartographie en fausse couleur (b) fréquence Brillouin, la fréquence moyenne est de 11.0882GHz et estimation des variations induites de l'indice effectif.

Références

[1] B. Stiller and A. Kudlinski and M. W. Lee and G. Bouwmans and M. Delqué and J.-C. Beugnot and H. Maillotte and T. Sylvestre, "SBS mitigation in a microstructured optical fiber by periodically varying the core diameter", to appear in *IEEE Photonics Technology Letters*

[2] S. Foaleng Mafang, M. Tur, J.-C. Beugnot, and L. Thévenaz, "High spatial and spectral resolution long-range sensing using Brillouin echoes," *J. Lightwave Technol.* **28** (20), pp. 2993-3003 (2010).

[3] A. Kobyakov, M. Sauer and D. Chowdhury, "Stimulated Brillouin scattering in optical fibers," Advances in Optics and Photonics 2 1-59 (2010).