



Programme et publications JNOG

Date: Mardi, 03.07.2018	
11:00 - 12:30	O1-B: Session Orale conjointe CFOR / JNOG
Amphi Grignard	
14:00 - 16:00	O2-B: Session Orale JNOG #1 Communications optiques et réseaux
Amphi Grignard	
Date: Mercredi, 04.07.2018	
8:30 - 10:30	O3-B: Session Orale JNOG #2 Fibres optiques spéciales et lasers à fibres
Amphi Grignard	
17:30 - 19:00	PO-01 F: Session posters JNOG/CFOR #1
Salle B24	
Date: Jeudi, 05.07.2018	
8:30 - 10:30	O5-B: Session Orale JNOG #3 Laser et contrôle fréquentiel
Amphi Grignard	
Date: Vendredi, 06.07.2018	
8:30 - 10:30	O7-B: Session Orale JNOG #4 Optique non linéaire en optique guidée
Amphi Grignard	
11:00 - 12:30	O8-B: Session Orale JNOG #5 Instrumentation et capteurs pour et par l'optique guidée
Amphi Grignard	

Présentations

O1-B: Session Orale conjointe CFOR / JNOG

Heure: Mardi, 03.07.2018: 11:00 - 12:30 · Salle: Amphi Grignard

11:30 - 11:50

Extensométrie dynamique par réseaux de Bragg d'échantillons sollicités sous pression magnétique

S. Magne¹, S. Nehr¹, N. Roussel¹, G. Laffont¹, G. Le Blanc², Y. Barbarin², J. Luc², O. Lassalle², F. Sinatti²

¹CEA-LIST, Laboratoire Capteurs Architectures Electroniques F-91191 Gif-sur-Yvette; ²CEA DAM, CEA-Gramat F-46500 Gramat; sylvain.magne@cea.fr

Un dispositif d'extensométrie dynamique à réseaux de Bragg, immune au plan EM, a été validé (installation CYCLOPE) sur échantillons métalliques soumis à des pressions magnétiques sous hautes puissances pulsées. Il fournit des mesures directes de déformations en surface d'échantillon, en vue d'alimenter des codes de calculs Magnéto-Hydro-Dynamiques.

11:50 - 12:10

Mesure Répartie de la Corrosion des Armatures de Renforcement des Structures en Béton par Réflectométrie Fréquentielle

S. Magne, S. Ali Alvarez, S. Rougeault

CEA-LIST, Laboratoire Capteurs Architectures Electroniques, F-91191 Gif-sur-Yvette; sylvain.magne@cea.fr

Une mesure par réflectométrie fréquentielle (OFDR-*Optical Frequency-Domain Reflectometry*) du profil de déformation le long d'une fibre optique déployée sur une armature de renforcement d'une structure en béton armé permet de localiser/identifier le processus de corrosion et analyser périodiquement son évolution. Une preuve de concept est établie.

12:10 - 12:30

CARACTERISATIONS EXPERIMENTALES D'UN DISPOSITIF DE "PUISSANCE SUR FIBRE" POUR LA TRANSMISSION DE DONNEES DANS LE CONTEXTE DES OBSERVATOIRES DE FOND DE MER.

L. Ghisa, A. Pérennou, R. Hamie, V. Quintard, M. Guegan

Lab-STICC, UMR CNRS 6285, ENIB, France; perennou@enib.fr

Nous étudions des solutions optiques de pilotage des capteurs distants pour des observatoires sous-marins. Nous présentons les résultats expérimentaux obtenus sur la dernière version d'une extension d'optoalimentation : caractérisations de l'amplification des données en fonction de la puissance du laser fournissant l'énergie d'alimentation.

O2-B: Session Orale JNOG #1

Heure: Mardi, 03.07.2018: 14:00 - 16:00 · Salle: Amphi Grignard

Communications optiques et réseaux

14:00 - 14:30

Invitée

Quand les réseaux optiques deviennent (enfin) flexibles

P. Layec, A. Dupas, S. Bigo

Nokia Bell Labs, France; patricia.layec@nokia-bell-labs.com

Les réseaux optiques métropolitains, situés à la convergence entre opérateurs télécoms et over-the-top (OTTs), deviennent dynamiques et s'appuient sur les briques optiques élémentaires devenues flexibles telles que les transpondeurs universels. Les points bloquants et nouvelles fonctionnalités nécessaires à la flexibilité sont résumés.

14:30 - 14:45

NOUVEAUX LASERS HYBRIDES III/V SUR SILICIUM LARGEMENT ACCORDABLES POUR LES RESEAUX D'ACCES NG-PON2

A. Gallet³, N. Girard¹, D. Make¹, J.-G. Provost¹, A. Shen¹, G. Duan¹, H. Debrégeas¹, S. Malhouitre², S. Olivier², K. Hassan², F. Grillo³

¹3-5 lab; ²CEA Leti; ³Telecom Paristech; antonin.gallet@3-5lab.fr

Ce travail présente un nouveau type de laser accordable hybride III-V/Si pour l'accès NG-PON2. Le laser combine un résonateur en anneau avec un interféromètre de Mach-Zehnder. Il est largement accordable et présente des performances compatibles avec les spécifications de NG-PON2.

14:45 - 15:00

Méthode de la rotation de phase de la constellation afin de réduire le bruit du transmetteur dans les réseaux optiques.

S. Almonacil^{1,2}, P. Jennevé¹, P. Ramantanis¹, P. Layec¹

¹Nokia Bell Labs France, France; ²Institut d'Optique Graduate School, Laboratoire Charles Fabry, France; sylvain.almonacil@nokia-bell-labs.com

Nous présentons une nouvelle méthode en 2 étapes de rotation de phase de la constellation pour réduire la pénalité de quantification des DACs résultant de la pré-compensation de la dispersion chromatique (CD). Nous démontrons expérimentalement un gain de 1dB en SNR pour un signal 16QAM utilisant un DAC de résolution 4 bits.

15:00 - 15:15

Conception d'un filtre optique à profil arbitraire de signaux micro-ondes par diffusion Brillouin stimulée

W. Wei^{1,2}, Y. Jaouën¹, L. Yi², W. Hu²

¹Telecom ParisTech, France; ²Shanghai Jiao Tong University, China; ves.jaouen@telecom-paristech.fr

Le phénomène de diffusion Brillouin stimulée est proposé pour la conception de filtres optiques à profil arbitraire par simple contrôle du spectre de la pompe. Afin d'ajuster le spectre de gain et la réjection hors-bande, le niveau de chaque composante fréquentielle du signal de commande de la pompe est ajusté par boucle de rétroaction numérique.

15:15 - 15:30

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE L'ELLIPTICITÉ DU CŒUR SUR LA DIAPHONIE MODALE DANS UNE FIBRE FAIBLEMENT MULTIMODE

L. Provino¹, T. Taunay¹, B. Denolle², S. Le Gall³

¹PERFOS, RTO de Photonics Bretagne, France; ²CAILabs, 38 boulevard Albert 1er, 35200 Rennes, France; ³SAFRAN LABINAL POWER SYSTEMS, 1 rue Louis Blériot, CS80049, 31702 Blagnac Cedex, France; taunay@photonics-bretagne.com

L'objectif du présent papier est de présenter les résultats d'une étude permettant d'optimiser le découplage des modes spatiaux d'une fibre faiblement multimode à cœur elliptique et à gradient d'indice parabolique afin de permettre la propagation d'un nombre maximal de modes excités possédant une diaphonie minimale.

15:30 - 16:00

Invitée

Communications optiques basées sur la transformée de Fourier non-linéaire

M. Yousefi, Y. Jaouën, W. Gemechu, J.-W. Goossens, M. Song

Telecom ParisTech, France; mansoor.isvandyousefi@telecom-paristech.fr

Les performances des systèmes optiques sont limitées par les effets nonlinéaires. La transformée de Fourier nonlinéaire permet d'exploiter les non-linéarités afin de dépasser la limite de Shannon nonlinéaire. La démonstration d'une transmission NFDM multiplexée en polarisation constitue une étape importante dans la mise œuvre de ce type d'approche

O3-B: Session Orale JNOG #2

Heure: Mercredi, 04.07.2018: 8:30 - 10:30 · Salle: Amphi Grignard

Fibres optiques spéciales et lasers à fibres

8:30 - 9:00

Invitée

Fibre micro-structurée à cœur annulaire pour le guidage de modes OAM en régime de couplage faible

A. Tadjé^{1,2}, J. Yammine¹, G. Bouwmans¹, M. Dossou², A. Vianou², E. R. Andresen¹, L. Bigot¹

¹Univ. Lille, CNRS, UMR 8523 - PhLAM - Physique des Lasers Atomes et Molécules, F-59000 Lille, France; ²cole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Univ. d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin; sha.tandje@ed.univ-lille1.fr

Nous proposons une fibre micro-structurée à cœur annulaire pour la transmission de modes à moment angulaire orbital. La géométrie proposée supporte jusqu' à 4 groupes de modes OAM avec une différence d'indices effectifs minimale de 2.13×10^{-3} à $1.55 \mu\text{m}$. La fibre ainsi réalisée apparaît comme un support intéressant pour la transmission des modes OAM.

9:00 - 9:15

Fibre de Bragg pixélisée à grande aire effective et à maintien de polarisation

O. Vanvincq, R. Habert, A. Cassez, Y. Quiquempois, G. Bouwmans, L. Bigot

Univ. Lille, CNRS, UMR 8523 - PhLAM - Physique des Lasers Atomes et Molécules, F-59000 Lille, France; olivier.vanvincq@univ-lille1.fr

Nous présentons la modélisation et la réalisation d'une fibre à bande interdite photonique toute solide dont le design est basé sur celui d'une fibre de Bragg pixélisée. L'ajout de barreaux de contrainte permet un comportement monomode sur l'un des axes propres avec un grand diamètre de mode ($26 \mu\text{m}$ à 1050 nm) et un maintien de polarisation.

9:15 - 9:30

Observation de photochromisme sur amplificateur forte puissance à base de fibre optique double-gaine codopée Erbium-Ytterbium

T. Robin¹, T. Gotter¹, A. Barnini¹, P. Guittou¹, R. Montron¹, G. Mélin¹, C. Ranger¹, A. Laurent¹, S. Girard², B. Cadier¹

¹iXblue, France; ²Laboratoire Hubert Curien, France; thierry.robin@ixblue.com

Nous avons récemment mis en évidence un phénomène de photochromisme sur les fibres double-gaine co-dopées Erbium-Ytterbium. Nous présenterons quelques hypothèses sur l'origine de ce phénomène et les solutions que nous avons mises en œuvre pour réduire drastiquement ce photochromisme et ce pour des puissances de sortie jusqu'à 20W.

9:30 - 9:45

High-power ultrafast fiber laser system at 3 μm

A. Hideur¹, K. Guesmi¹, A. Haboucha^{1,2}, A. Ayoub¹, S. Idlahcen¹, T. Godin¹

¹CORIA - Université de Rouen, France; ²Phonics Bretagne, France; godint@coria.fr

We report an ultrafast Erbium doped ZBLAN fluoride fiber laser operating at $2.8 \mu\text{m}$. The system is based on a passively mode-locked seed oscillator producing a stable pulse train with 650 pJ energy per pulse at a repetition rate of 49 MHz. These pulses are then amplified in a double-clad Er-doped fiber to 7 nJ energy.

9:45 - 10:00

SOURCE LASER FIBREE PICOSECONDE DE FORTE PUISSANCE MOYENNE ET DE FORTE PUISSANCE CRETE A 2 MICRONS

J. P. Yehouessi, S. Vidal, Q. Guichot, A. Morisset, J. Boulet

ALPhANOV, France; jeanpaul.yehouessi@alphanov.com

Nous présentons une architecture laser entièrement fibrée et à maintien de polarisation délivrant des impulsions picosecondes avec une puissance moyenne de 16W à $2 \mu\text{m}$. Cette source permet de générer des impulsions avec une puissance crête de 100kW, particulièrement bien adaptées pour la génération de supercontinuum et la spectroscopie Lidar.

10:00 - 10:15

High peak power Doppler Lidar based on a 1.5 μm compressive-strained-singlemode fiber amplifier

L. Lombard, B. Augère, A. Durécu, D. Goular, F. Gustave, M. Valla, A. Dolfi-Bouteyre

onera, France; laurent.lombard@onera.fr

Onera has developed a patented SBS mitigation technique using compressive strain on fibers. This technique has been applied to a singlemode fiber amplifier and a peak power of up to 300W has been generated. We present the details of this technique, the achieved laser performances and tests results of a lidar using this compressive-strained-source.

10:15 - 10:30

Génération de supercontinuum par cascade de mélanges à quatre ondes intermodaux dans une fibre optique multimode à saut d'indice

S. Perret¹, G. Fanjoux¹, L. Bigot², J. Fatome³, G. Millot³, J. Dudley¹, T. Sylvestre¹

¹institut FEMTO-ST, France; ²Laboratoire de Physique des Lasers Atomes et Molécules PhLAM, France; ³Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne ICB, France; gil.fanjoux@univ-fcomte.fr

Nous démontrons la génération d'un supercontinuum allant de λ en injectant un laser picoseconde à dans une fibre optique multimode à saut d'indice via des processus en cascade de mélanges à quatre ondes intermodaux et de diffusion Raman stimulée.

PO-01 F: Session posters JNOG/CFOR #1

Heure: Mercredi, 04.07.2018: 17:30 - 19:00 · Salle: Salle B24

Génération d'impulsions énergétiques dans un laser à fibre verrouillé en phase

M. Kemel

Laboratoire de Photonique d'Angers, Université d'Angers, France; meriem.kemel@univ-angers.fr

Dans cette communication, nous présentons la génération d'impulsions géantes et énergétiques dans un oscillateur fibré. Dans une nouvelle configuration de cavité, nous obtenons des impulsions qui ne subissent pas la quantification de l'énergie, avec des durées allant de 3 à 5 μs et des énergies entre 0.5 et 5 μJ .

MICROLENTILLE À FAISCEAU EXPANSÉ EN CONNECTEUR STANDARD POUR CAPTEUR OPTIQUE À FIBRE MONOMODE EN ENVIRONNEMENT SÉVÈRE

X. Insou^{1,3}, L. Quétel², S. Claudot³, M. Thual¹

¹Institut Foton, CNRS UMR6082, Université de Rennes 1, F-22305 Lannion, France; ²IDIL Fibres Optiques, 21 rue Louis De Broglie 22300 Lannion, France; ³Souriau-Sunbank - Esterline ECT, RD323, 72470 Champagné, France; xinsou@souriau.com

Nous proposons une microlentille à faisceau expansé en connecteur standard utile pour des applications capteurs à fibre monomode en environnement sévère. Ce connecteur offre de faibles pertes d'insertion de la bande O à la bande C, de faibles réflexions et des tolérances de positionnement relâchées par rapport à une connectique monomode.

Etude de l'effet Kerr évanescent dans une nanofibre de silice immergée dans un liquide hautement non linéaire

G. Fanjoux, J.-C. Beugnot, T. Sylvestre

institut FEMTO-ST, France; gil.fanjoux@univ-fcomte.fr

Nous étudions théoriquement la contribution à l'effet Kerr optique du champ évanescent d'une nanofibre optique de silice par rapport à la contribution de la silice du coeur en fonction de son diamètre et du milieu liquide hautement non linéaire environnant.

Interaction du nettoyage par effet kerr et raman de faisceaux lasers dans une fibre microstructurée

R. Dupiol

Université de Limoges / Laboratoire XLIM, France; richard.dupiol@unilim.fr

Nous étudions expérimentalement la compétition entre le nettoyage d'un faisceau laser par effet Kerr et effet Raman dans une fibre multimode microstructurée. La génération et le nettoyage du faisceau de la première raie Stokes Raman entraînent à la fois la déplétion et la dégradation de la qualité spatiale du faisceau.

Guides d'onde pour le proche et le moyen infrarouge réalisés par photo-inscription dans un verre chalcogénure

D. Le Coq¹, E. Bychkov², P. Masselin^{1,2}

¹Université de Rennes; ²Université du Littoral-Côte d'Opale, France; masselin@univ-littoral.fr

Une nouvelle procédure pour la réalisation de guides d'ondes par photo-inscription par laser femtoseconde dans un verre chalcogénure est présentée. Les pertes de propagation mesurées ont des valeurs inférieures à 0,2 dB/cm à la fois pour des guides fonctionnant dans le proche ($\lambda = 1,55 \mu\text{m}$) et le moyen infrarouge ($\lambda = 4,5 \mu\text{m}$).

VISIBLE CASCADED RAMAN LASING IN A MICRORESONATOR-FEEDBACK PR-FIBER LASER

Z. Cai

Université de Xiamen, Chine; zpcai@xmu.edu.cn

We realize cascaded Raman lasing at visible range in a microresonator-feedback Pr-fiber laser for the first time. A silica microsphere with an ultrahigh Q-factor is employed as a narrow bandwidth cavity mirror. By optimizing the polarization states, the cascaded Raman lasings at 0.65, 0.67 and 0.69 μm are realized, respectively.

Capteur optique pour la caractérisation du dépôt de pulvérisation agricole

A. Taleb Bendiab¹, C. Vigreux², R. Kribich³, R. Escalier², A. Ducanchez¹, R. Bendoula¹

¹ITAP team, IRSTEA, France; ²ChV, ICGM UM2, France; ³TeHO, IES France; anis.taleb-bendiab@irstea.fr

La qualité de la pulvérisation des pesticides suscite un intérêt majeur au sein de notre société, celle-ci étant directement liée à la dérive de pulvérisation.

L'objectif de notre travail est donc de développer un nouvel outil optique pour la caractérisation du dépôt qui remplacera les méthodes traditionnelles et fournir une solution opérationnelle.

Guides d'onde magnétiques bigyrotropiques couplés

Y. Boucher¹, F. Bentivegna², Y. Dadoenkova³

¹Institut Foton (CNRS UMR 6082), France; ²Lab-STICC, UMR CNRS 6285, ENIB, 29238 Brest Cedex 3, France; ³Ulyanovsk State University, Ulyanovsk 432017, Fédération de Russie; boucher@enib.fr

Nous étudions les supermodes pair et impair d'un système de deux guides d'ondes magnétiques couplés dont les aimantations peuvent être séparément renversées. Nous montrons qu'un renversement d'aimantation dans l'un des guides modifie le couplage entre les guides et les conditions d'obtention d'un transfert total d'énergie d'un guide vers l'autre.

LASER EN CAVITE ETENDUE PAR HYBRIDATION DE COMPOSANTS ACTIFS INP AVEC DES COMPOSANTS PASSIFS EN Si3N4

S. Boust^{1,3}, C. Gomez¹, J.-F. Paret¹, A. Garreau¹, K. Mekhazni¹, C. Forin¹, J.-G. Provost¹, J.-M. Fédéli², P. Primiani^{1,3}, F. Duport¹, F. Van Dijk¹, M. Vallet³

¹III-V Lab; ²CEA LETI; ³Université Rennes, Institut FOTON; sylvain.boust@3-5lab.fr

Nous présentons une source laser hybride à 1,55 µm. Sa cavité de 2,4 mm est formée par la juxtaposition d'un amplificateur optique à semi-conducteurs sur InP et d'un miroir de Bragg contenu dans un guide d'onde en Si₃N₄. Le miroir de Bragg est accordable au moyen d'une chaufferette intégrée au composant, le mode d'émission laser est ainsi choisi

Photoacoustic imaging using multimode fibers

A. M. Caravaca Aguirre, E. Bossy

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, LIPhy, F-38000 Grenoble, France; antonio.caravaca@univ-grenoble-alpes.fr

We present a thin endoscopic system for optical resolution photoacoustic microscopy. The system is based on an optical multimode fiber for light delivery attached to a fiber-optic hydrophone for photoacoustic detection. A full-field illumination approach using speckle patterns combined with reconstruction algorithm allows to image sparse samples.

ELABORATION OF HIGHLY NONLINEAR AMORPHOUS CHALCOGENIDE THIN FILMS FOR MID-INFRARED APPLICATIONS

J.-B. Dory¹, J.-B. Jager², A. Coillet³, J.-Y. Raty⁴, F. D'Acapito⁵, A. Verdy¹, M. Tessaire¹, M. Bernard¹, J.-M. Fédéli¹, B. Cluzel³, P. Noé¹

¹CEA-LETI, France; ²CEA-INAC, France; ³ICB, France; ⁴SPIN, Belgium; ⁵ESRF, France; jean-baptiste.dory@cea.fr

In this work, we show how to tailor the nonlinear (NL) optical properties of Ge-Sb-S-Se-Te-based amorphous chalcogenide thin films compatible with CMOS technology with regards to their potential use in active on-chip mid-infrared (MIR) components.

METHODE DE MESURE DE L'EVOLUTION DE L'ATTENUATION INDUITE PAR RADIATION DANS DES VERRES OPTIQUES PENDANT ET APRES IRRADIATION

T. Allanche¹, S. Girard¹, P. Paillet², V. Goiffon³, C. Muller^{1,2}, A. Boukenter¹, Y. Ouerdane¹

¹Laboratoire Hubert Curien, France; ²CEA, DAM, France; ³ISAE-SUPAERO, France; t.allanche@univ-st-etienne.fr

Nous avons développé une méthode de caractérisation, permettant de mesurer l'évolution de Radiation Induced Attenuation (RIA) d'échantillons massifs sous rayonnement X. Ce montage permet de fournir aux concepteurs de systèmes optiques des données de RIA pré-guérison et de suivre la dynamique de création et de disparition des centres colorés

DYNAMIQUE MULTIMODE NON-LINEAIRE D'UN LASER A SEMICONDUCTEUR : TURBULENCES PHASE-AMPLITUDE ET ROUTE VERS UN REGIME MONOFREQUENCE

B. Chomet¹, M. Myara¹, S. Blin¹, S. Denet², V. Lecocq², G. Beaudoin³, I. Sagnes³, A. Garnache¹

¹IES-CNRS UMR5214, Univ. Montpellier, France; ²INNOPTICS SAS, Talence, France; ³C2N – CNRS – Université Paris Sud, Marcoussis, France; baptiste.chomet@ies.univ-montp2.fr

Nous présentons une étude de la dynamique non linéaire d'un laser à semi-conducteur émettant par la surface en cavité externe verticale (VECSEL) en présence de dispersion. Nous montrons l'existence d'une dynamique déterministe du champ laser qui donne naissance à un régime multimode longitudinal non stationnaire ou à un régime monofréquence stable.

QUASI-ACCORD DE PHASE DANS LES GUIDES D'ONDE SUSPENDUS

N. Morais¹, I. Roland¹, M. Ravano¹, A. Lemaître², G. Leo¹

¹Matériaux et Phénomènes Quantiques, Université Paris Diderot, CNRS, Sorbonne Paris Cité, 10 rue Alice Domon et Léonie Duquet, 75013 Paris, France; ²Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay 91460 Marcoussis, France; natalia.morais@univ-paris-diderot.fr

Quasi-accord de phase (QPM) a été obtenu dans les guides AlGaAs homogènes suspendus en forme de serpent. Une double génération de la deuxième harmonique (SHG) a été observée.

CONTROLE DES FRONTS D'OXYDATION D'ALGAAS POUR L'OPTIQUE GUIDEE

S. Calvez, G. Lafleur, O. Stepanenko, A. Arnoult, P.-F. Calmon, J.-B. Doucet, A. Monmayrant, H. Camon, G. Almuneau
LAAS-CNRS, France; scalvez@laas.fr

Ce papier documente la quantification expérimentale de l'anisotropie d'oxydation d'AlGaAs et un modèle qui permet de reproduire le fait que la forme de l'ouverture d'oxyde diffère de l'homothétie du contour du mesa gravé et qui permet aussi d'élaborer des règles pour dessiner les mesas à graver pour obtenir une forme d'ouverture d'oxyde spécifique.

SHG IN PPLN WAVEGUIDES WITH STITCHING ERRORS

M. Neradovskiy^{1,2}, E. Neradovskaia^{1,2}, P. Baldi¹, M. De Micheli¹, C. Montes¹

¹InPhyNi, Université Côte d'Azur-CNRS, UMR 7010, Parc Valrose, 06100 Nice, France; ²School of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University, 620000 Ekaterinburg, Russia; maxim.neradovskiy@unice.fr

Imperfections of the periodic material impact the performances of Quasi Phase Matched devices. Our numerical study allows predicting the impact of stitching errors on the nonlinear interactions in waveguides using domains induced by e-beam writing in Lithium Niobate and explaining the observed experimental results.

INTERACTIONS NON LINEAIRES EFFICACES DANS DES MICROGUIDES DE NITRURE D'ÉLÉMENT III.

M. Gromovyi^{1,2}, F. Semond¹, J. Brault¹, A. Courville¹, S. Rennesson¹, S. Chenot¹, P. Baldi², J.-Y. Duboz¹, M. De Micheli²

¹Université Côte d'Azur - CNRS, CRHEA, rue Bernard Grégory, 06560 Valbonne, France; ²Université Côte d'Azur - CNRS, INΦNI, Parc Valrose, 06100 Nice, France; marc.de-micheli@inphyni.cnrs.fr

En combinant EJM et EPVOM nous avons réalisés des guides d'onde à base d'AlN et de GaN mono-cristallins qui présentent de très faibles pertes à la propagation et des possibilités d'accord de phase modal intéressantes. A partir de ces structures, nous avons réalisés des guides canaux dont nous présentons les performances linéaires et non linéaires.

Mesure rapide de la composition modale de fibres optiques par imagerie résolue spatialement et spectralement

L. Fouché¹, E. Hugonnot¹, C. Grosset-Grange¹, P. Morin², Q. Maouhoub²

¹CEA CESTA, France; ²Alphanov, Talence, France; lauriane.fouche@cea.fr

Nous présentons un banc de mesure du contenu modal de fibres optiques basé sur l'imagerie résolue spatialement et spectralement, optimisé de façon à effectuer des acquisitions quasi instantanées. Le système réalisé utilise le balayage continu en longueur d'onde d'un laser accordable, une caméra rapide et un traitement numérique en temps réel.

Guides d'onde OP-GaAs pour la conversion de fréquence vers l'infrarouge lointain

M. Bailly¹, A. Grisard¹, E. Lallier¹, C. Theveneau², B. Gérard²

¹Thales Research and Technology, France; ²III-V Lab, France; myriam.bailly@thalesgroup.com

Nous présentons une structure de guide en arséniure de gallium à orientation périodique (OP-GaAs) pour la conversion de fréquence vers le lointain infrarouge (LWIR). Ces guides, plus épais que l'état de l'art, nécessitent de lever certains verrous technologiques en ce qui concerne leur fabrication, que nous évoquons dans un second temps.

EFFICACITE DE LA FFF SUR LA RCWA ET LA METHODE DIFFERENTIELLE APPLIQUEE A LA DIFFRACTION D'UN RESEAU METALLIQUE SINUSOÏDAL

H. Mohamad¹, A. Morand¹, S. Blaize², D. Macias², P. Benech¹

¹IMEP-LAHC, France; ²L2n, Troyes; habib.mohamad@minatec.grenoble-inp.fr

La diffraction de la lumière par des structures périodiques est modélisable par des méthodes numériques comme la RCWA ou la méthode différentielle (MD). La RCWA est efficace pour des profils lamellaires. Pour des profils continus en TM, la MD associée à la FFF est une solution. Nous allons montrer que la RCWA associée à la FFF peut être efficace.

Laser à boîtes quantiques pour les transmissions optiques à haut-débit sans isolateur

H. Huang¹, L.-C. Lin², C.-Y. Chen², D. Arsenijević³, D. Bimberg^{3,4}, F.-Y. Lin², F. Grillot¹

¹Telecom ParisTech, France; ²National Tsing Hua University, Taiwan; ³Technische Universität Berlin, Germany; ⁴King Abdulaziz University, KSA; heming.huang@telecom-paristech.fr

La sensibilité au retour optique d'un laser à boîtes quantiques émettant sur la transition fondamentale est étudiée. Quelque soit le montant de la lumière retournée, les résultats montrent un comportement dynamique ultra-stable avec une absence totale de chaos. Ces travaux ouvrent la voie à la conception de transmetteurs sans isolateur optique.

OPTIMISATION DE FIBRES À CRISTAUX PHOTONIQUES POUR LA CONVERSION A HAUTE-PUISSANCE DANS LA DOMAINE VISIBLE PAR MELANGE A QUATRE ONDES DE SOURCES YTTERBIUM PICOSECONDE POUR LES APPLICATIONS BIOMEDICALES.

J.-C. Delagnes¹, R. Royon², J. Lhermite¹, D. Marion¹, N. Valéro¹, G. Santarelli³, H. Munoz⁴, T. Grosz⁵, D. Darwich⁶, R. Dauliat⁶, R. Jamier⁶, P. Roy⁶, E. Cormier¹

¹CELIA, Centre Lasers Intenses et Applications, Université de Bordeaux-CNRS-CEA, France; ²SATT Aquitaine Science Transfert, Bâtiment A31 – 3ème étage, 351, cours de la Libération, F-33405 Talence Cedex, France; ³LP2N (UMR5298), IOGS-Université de Bordeaux -CNRS, France; ⁴FYLA, Ronda Guglielmo Marconi 12, 46980 Paterna – Valencia, Spain; ⁵University of Szeged, Dom ter 9, H-6720 Szeged, Hungary; ⁶Université de Limoges, CNRS, XLIM, UMR 7252, France; jean-christophe.delagnes@u-bordeaux.fr

Nous présentons une étude détaillée des résultats théoriques et expérimentaux sur le design de fibres à cristaux photoniques (PCF) pour la conversion vers le visible de 620 à 910 nm (domaine d'intérêt biomédical) et l'infrarouge moyen d'une source Yb picoseconde très largement accordable par mélange à quatre ondes dégénéré.

Optimisation de réseaux de Bragg pour la conception de lasers à fibre de puissance à 1, 1.5 et 2µm

L. Lablonde, B. Dudoux, O. Rabine, E. Pinsard, C. Ranger, A. Laurent, T. Robin, B. Cadier

iXblue, France; laurent.lablonde@ixblue.com

Les miroirs à réseaux de Bragg de laser à fibre continu monomode pouvant émettre jusqu'à 1 kW nécessitent un procédé spécifique. Des résultats de pentes thermiques au signal améliorées d'un facteur > 10 et pouvant atteindre 0.1°C/W pour une fibre suspendue dans l'air calme seront présentés tout en développant les techniques de mesures employées.

FILTRE ACOUSTO-OPTIQUE RECONFIGURABLE : MODIFICATION DES PERFORMANCES PAR CONTRÔLE DE LA COMMANDE RF

A. Pérennou, V. Quintard, A. Saab

ENIB, UMR CNRS 6285, LabSTICC, France; perennou@enib.fr

Le travail proposé concerne l'étude de l'évolution du gabarit d'un filtre acousto-optique reconfigurable en longueur d'onde en fonction de la nature de la commande électrique de ce dernier. Le contrôle dynamique de la forme du gabarit permet de répondre aux contraintes (diaphonie, égalisation des puissances optiques, ...) de dispositifs spécifiques.

ETUDE NUMERIQUE SUR LA DEPENDANCE SPECTRALE COMPLEXE DU COUPLAGE OPTIQUE DANS LA GENERATION DE PEIGNES KERR PAR DES RESONATEURS DE Si3N4

N. Gutiérrez, A. Fernandez, S. Calvez, O. Llopis

LAAS-CNRS, France; ngutierr@laas.fr

Nous présentons un outil numérique pour la modélisation de résonateurs optiques à couplage d'accès vertical en Si3N4. Cette approche nous permet d'étudier la formation de peignes Kerr dans les résonateur en prenant en compte les variations en fonction de la fréquence du facteur de qualité du résonateur et de son facteur d'accumulation de puissance

Study of the dynamical behaviour of a high-power laser diode subject to stimulated Brillouin scattering optical feedback

A. G. Correa-Mena¹, M. W. Lee², I. E. Zaldivar-Huerta¹, Y. Hong³, A. Boudrioua²

¹Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Mexico; ²Université Paris 13, France; ³Bangor University, Wales, U.K.; min.lee@univ-paris13.fr

We study for the first time the dynamical behaviour of a laser diode subject to optical feedback using stimulated Brillouin scattering. The experimental results with RF spectrum and RF spectrum maps show abundant dynamics and the Brillouin frequency shift at 11.46 GHz. A comparison is also performed with the ones for conventional optical feedback.

UTILISATION DE FIBRES A COUPLAGE INHIBE POUR LE CONTROLE DE L'INTRICATION SPECTRALE DE PAIRES DE PHOTONS

M. Cordier¹, A. Orioux², B. Debord³, F. Gérome³, A. Gorse⁴, M. Chafer³, E. Diamanti², P. Delaye⁵, F. Benabid³, I. Zaquine¹

¹LTCl, Télécom ParisTech, France; ²LIP6, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, CNRS, Université Pierre et Marie Curie, Sorbonne Université, 75005 Paris, France; ³GPPMM Group, XLIM Research Institute, CNRS UMR 7252, Univ Limoges, Limoges, France; ⁴GLOphotonics S.A.S., 123 rue Albert Thomas, Limoges, France; ⁵LCF, Institut d'Optique Graduate School, CNRS, Univ Paris-Saclay, 91127 Palaiseau cedex, France; martin.cordier@telecom-paristech.fr

Nous démontrons expérimentalement en régime stimulé comment les propriétés de dispersion des fibres à coeur creux à couplage inhibé permettent de contrôler les corrélations spectrales des paires de photons générées par mélange à quatre ondes spontané dans une fibre remplie de gaz non linéaire.

O5-B: Session Orale JNOG #3

Heure: Jeudi, 05.07.2018: 8:30 - 10:30 · Salle: Amphi Grignard

Laser et contrôle fréquentiel

8:30 - 9:00

Invitée

Synchronisation de deux lasers DFB par réinjection décalée en fréquence, pour applications en photonique micro-onde

A. Thorette, M. Romanelli, M. Vallet

Univ. Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-35000 Rennes, France; aurelien.thorette@univ-rennes1.fr

Nous étudions la synchronisation sur référence externe de l'écart de fréquence entre deux lasers DFB, via une réinjection décalée en fréquence. Des résultats numériques et expérimentaux pour un composant intégré incluant deux lasers sont comparés, notamment l'influence du désaccord de fréquence, du taux d'injection et des phases de rétro-action.

9:00 - 9:15

Lasers intégrés sur verre pour la génération de fréquences radio

N. Arab, D. Bucci, E. Ghibaudo, J.-E. Broquin, L. Bastard, J. Poëtte

IMEP-LaHC, France; julien.poette@imep.grenoble-inp.fr

Nous présentons ici la réalisation de lasers intégrés sur verre pour la génération de fréquences par hétérodynage. Les caractérisations du battement montrent de très bonnes performances en largeur de raie et dérive temporelle. Une transmission de données est réalisée pour confirmer les capacités de cette technique pour les applications «système».

9:15 - 9:30

CONTRIBUTION DES ETATS NON-RESONANTS AU BRUIT RELATIF D'INTENSITE DANS LES LASERS A ILOTS QUANTIQUES

J. Duan¹, X.-G. Wang², Y.-G. Zhou², C. Wang², F. Grillot^{1,3}

¹LTCl, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, Paris, France; ²School of Information Science and Technology, ShanghaiTech University, Shanghai, China; ³Center for High Technology Materials, University of New-Mexico, Albuquerque, USA; jianan.duan@telecom-paristech.fr

Ce travail porte sur la modélisation du bruit relatif d'intensité des lasers à îlots quantiques. Nous montrons que la contribution du bruit de porteurs associée aux niveaux non-résonants de l'îlot ne doit pas être négligée et le couplage vertical entre le niveau fondamental et le premier état excité joue un rôle clef dans la dégradation du bruit.

9:30 - 9:45

DÉVELOPPEMENT ET INTÉGRATION DE LASERS À NANOSTRUCTURES III-V DE HAUTE COHÉRENCE ET ACCORDABLE POUR APPLICATIONS DANS LE PROCHE- ET MOYEN-IR

B. Chomet¹, L. Ferrières², V. Lecocq², M. Myara¹, G. Beaudoin³, I. Sagnes³, L. Cerutti¹, S. Denet², A. Garnache¹

¹IES-CNRS UMR5214, Univ. Montpellier, France; ²INNOPTICS SAS, Talence, France; ³C2N – CNRS – Université Paris Sud, Marcoussis, France; baptiste.chomet@ies.univ-montp2.fr

Nous présentons la réalisation de composants lasers à nanostructures III-V hautement cohérents de forte puissance et accordable spectralement intégrés dans un module industriel compact pour des applications dans le proche- et moyen-IR, basés sur la technologie des lasers émettant par la surface en cavité externe verticale.

9:45 - 10:00

Contrôle des fluctuations basses fréquences dans un laser à cascades quantiques soumis à des températures cryogéniques

O. Spitz^{1,2,3}, J. Wu^{3,4}, M. Carras², C. W. Wong³, F. Grillot^{1,3,5}

¹Télécom ParisTech, France; ²mirSense, France; ³University of California at Los Angeles, USA; ⁴Southwest University, Chine; ⁵University of New-Mexico, USA; olivier.spitz@telecom-paristech.fr

L'étude du rapport temps de vie des porteurs sur temps de vie des photons est déterminante pour comprendre la dynamique non-linéaire des lasers à cascades quantiques. Les expériences menées dans le cadre de cette étude montre l'influence de la température sur ce rapport et les conséquences sur le domaine chaotique du laser moyen-infrarouge étudié.

10:00 - 10:15

EFFET DE LA POLARISATION SUR UN MODULATEUR ELECTRO-OPTIQUE DANS UNE EXPERIENCE DE TRANSFERT DE STABILITE

A. Chaouche-Ramdane, T. Aoudjit, K. Manamanni, V. Roncin, F. Du-Burck

Laboratoire de physique des lasers, France; frederic.du-burck@univ-paris13.fr

Nous présentons une analyse des limitations introduites par l'utilisation d'un modulateur électro-optique fibré dans un dispositif de transfert de stabilité en fréquence basé sur une cavité fibrée à 1.55µm.

10:15 - 10:30

Lasers à fibre bifréquences stabilisés par réinjection optique

M. Guionie¹, A. Thorette¹, M. Romanelli¹, A. Carré¹, G. Loas¹, E. Pinsard², L. Lablonde², B. Cadier², M. Alouini¹, M. Vallet¹, M. Brunel¹

¹Institut Foton, France; ²iXblue Photonics, France; marie.guionie@univ-rennes1.fr

Les lasers à fibre bi-polarisation sont des sources de choix en optique microonde. Une boucle de réinjection optique décalée en fréquence permet de stabiliser le battement à 1 GHz d'un laser à fibre bifréquence. Le bruit de phase est de -104 dBc/Hz à 1 kHz. La dissymétrie de la plage d'accrochage pourrait s'expliquer par un facteur de Henry $\alpha > 1$.

INTERACTIONS NON LINEAIRES EFFICACES DANS DES MICROGUIDES DE NITRURE D'ELEMENT III.

**Maksym GROMOVYI^{1*}, Fabrice SEMOND¹, Julien BRAULT¹, Aimeric COURVILLE¹,
Stéphanie Rennesson¹, Sébastien Chenot¹, Pascal BALDI², Jean-Yves DUBOZ¹,
Marc P. DE MICHELI²**

¹ Université Côte d'Azur - CNRS, CRHEA, rue Bernard Grégory, 06560 Valbonne, France

² Université Côte d'Azur - CNRS, INΦNI, Parc Valrose, 06100 Nice, France

marc.de-micheli@unice.fr

RÉSUMÉ

En combinant EJM et EPVOM nous avons réalisé des guides d'onde à base d'AlN et de GaN mono-cristallins qui présentent de très faibles pertes à la propagation et des possibilités d'accord de phase modal intéressantes. A partir de ces structures, nous avons réalisés des guides canaux dont nous présentons les performances linéaires et non linéaires.

MOTS-CLEFS : GaN, optique intégrée, optique non linéaire, pertes à la propagation

1. INTRODUCTION

Nous avons déjà eu l'occasion de présenter l'intérêt des nitrures d'élément III pour réaliser des composants optiques non linéaires intégrés. [1-2]. En effet, ces matériaux qui présentent des coefficients non linéaires importants (10 pm/V), une fenêtre de transparence étendue (0.2 à 5μm) et un gap direct, peuvent conduire à de nombreux composants intéressants. Les couches d'AlN déposées par sputtering [3,4], présentent des performances intéressantes, mais les couches d'AlGaN monocristallin, qui ont un potentiel plus importants voient leurs performances limitées par leur qualité optique [5,6].

Dans ce papier, nous décrivons comment en combinant les procédés EJM et MOCVD nous avons pu réaliser des guides canaux présentant de faibles pertes à la propagation et des possibilités d'accord de phase modal ce qui nous a permis d'obtenir une efficacité de conversion normalisée de 1,6 % W⁻¹cm⁻², ce qui à notre connaissance constitue un record pour des guides GaN de ce type.

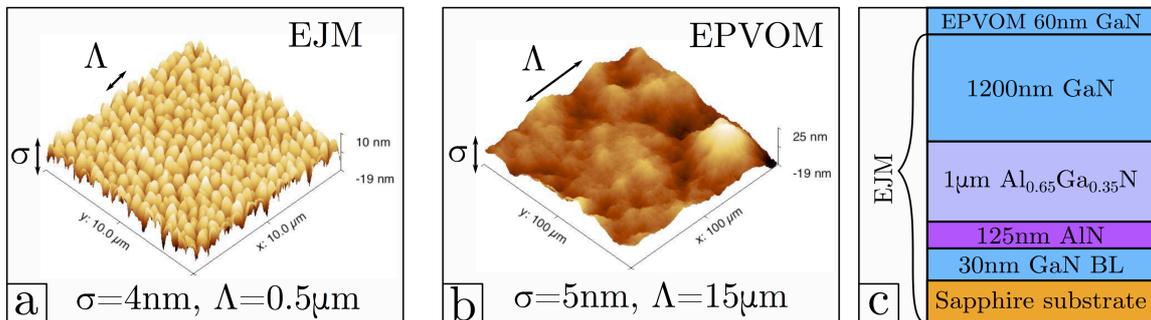


Fig. 1 : Etat de surface final d'une couche de GaN réalisée par EJM 1(a), EPVOM 1(b).1(c) décrit l'empilement où toutes les couches sont réalisées par EJM à l'exception des derniers 60nm déposés par EPVOM.

2. FABRICATION DE GUIDES NON LINEAIRES EFFICACES ET A FAIBLES PERTES DE PROPAGATION.

En faisant varier la composition d'une couche d'AlGaIn au cours de la croissance, on peut réaliser des guides présentant un fort contraste d'indice, ce qui donne une bonne isolation optique par rapport au substrat de départ et la possibilité d'utiliser la dispersion modale pour satisfaire la condition d'accord de phase qui est indispensable pour envisager des effets non linéaires efficaces.

Pour réduire les pertes à la propagation de ces structures, nous avons montré qu'il faut assurer un bon confinement des modes dans la couche de GaN en les isolant non seulement du substrat et des premières couches de croissance fortement perturbées, mais également combattant l'effet de la rugosité cinétique de surface caractéristique des couches épitaxiées qui provoque soit un couplage avec les modes de rayonnement (couches obtenues par EJM Fig. 1(a)) soit de la diffusion dans le plan (couches obtenues par EPVOM Fig. 1(b)). Une couche d'AlGaIn d'un micron d'épaisseur est suffisante pour isoler les modes du substrat et c'est en combinant les croissances EJM et EPVOM comme indiqué Fig. 1(c), que nous avons dramatiquement amélioré la qualité des couches et fait passer les pertes à la propagation en dessous de 1dB/cm à 633nm. C'est à partir de ces couches que nous avons réalisés des guides canaux de 2.5 μ m de large en gravant la totalité des couches de GaN et d'AlGaIn par gravure ionique réactive Fig. 2. Les faces d'entrée et de sortie des guides ont ensuite été clivées pour permettre d'injecter et de récupérer la lumière.

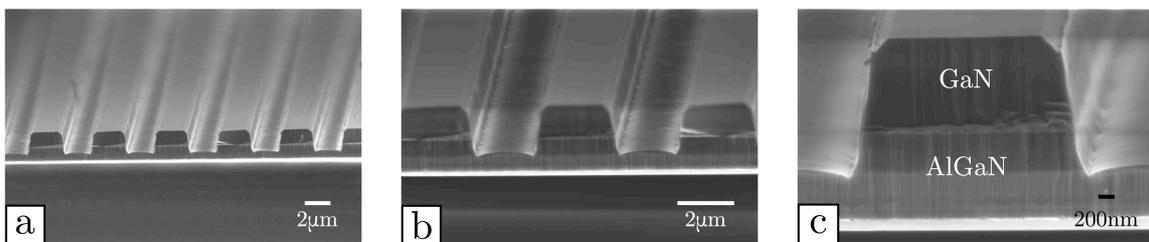


Fig. 2 : Images MEB à différents grossissements des guides de 2.5 μ m de large

Nous avons choisis des guides de 2,5 μ m de largeur pour avoir des guides "larges", dans lesquels l'accord de phase modal est peut modifié par rapport à celui que nous avons observé dans les guides plans [2], et pour avoir des modes très confinés, peu sensibles à la rugosité des parois Fig. 3. Ces guides sont multimodes transverse, mais il est assez simple d'injecter sélectivement la pompe dans le mode fondamental. Après clivage, les guides mesurent 4,5 mm de long, mais la qualité des facettes (Fig. 3c) est insuffisante pour mesurer précisément les pertes à la propagation. Seule la diffusion de l'harmonique (Fig. 4a) permet d'estimer qu'elles sont faibles pour les modes utilisés.

3. GENERATION DE DEUXIEME HARMONIQUE

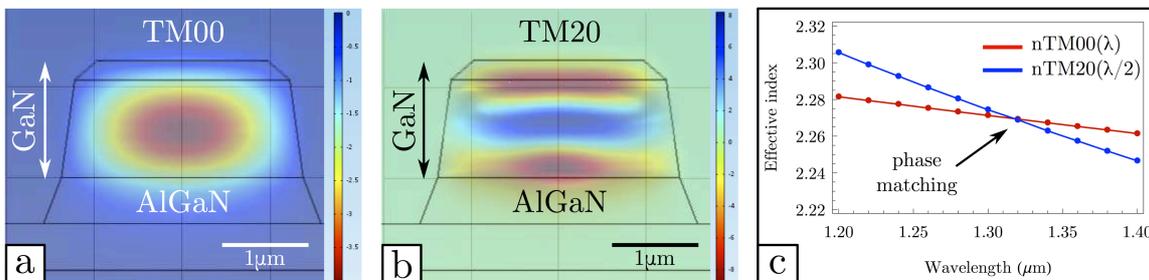


Fig. 3 : Modélisation l'accord de phase dans des guides canaux réalisés

La pompe, fournie par un OPO pulsé NT242 d'EKSPLA, est injectée dans le mode TM00 et l'harmonique à 655nm est créée dans le mode TM20. Les deux ondes, recueillies à la sortie du guide sont mesurées par des détecteurs appropriés (Figs. 4(c) et 4(d)) ou imagées sur des caméras sCMOS pour l'harmonique et InGaAS SWIR pour la pompe Fig. 4(b). La fig. 4(c) montre que l'accord de phase observé est très voisin de celui qui était prévu par la théorie (Fig. 3(c)). La fig. 4(d) représente l'énergie des impulsions à 655nm en fonction de l'énergie des impulsions de pompe. Elle est très bruitée car les détecteurs sont utilisés en-deçà de leur sensibilité, mais elle permet d'estimer une efficacité de conversion de l'ordre de $1,6\%W^{-1}cm^{-2}$ en prenant en compte une durée d'impulsion de 4 ns.

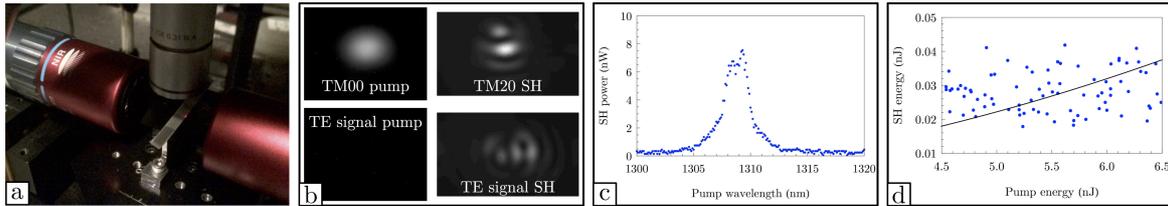


Fig. 4 : (a) Observation de l'harmonique diffusée qui n'est pratiquement visible qu'à l'extrémité du guide; (b) Champ proche des modes aux longueurs d'onde fondamentales et harmoniques. On observe du couplage TE-TM pour l'harmonique mais pas pour la pompe; (c) Intensité de l'harmonique en fonction de la longueur d'onde de pompe; (d) Intensité de l'harmonique en fonction de l'intensité de la pompe, toutes deux mesurées en sortie de guide.

REMERCIEMENTS

Agence nationale de la recherche (ANR): GANEX (ANR-11-LABX-0014) et NANOGANUV (ANR-14-CE26-0025-01).

CONCLUSION

En combinant hétéro-épitaxie par EJM et par EPVOM nous avons réalisé des guides rubans de GaN sur AlGaIn présentant de faibles pertes à la propagation dans le visible et des contrastes d'indice suffisants pour permettre de satisfaire les conditions d'accord de phase entre une pompe dans le proche IR et un harmonique dans le VIS. Ces guides nous ont permis d'obtenir une efficacité de conversion de $1,6\%W^{-1}cm^{-2}$ dans des expériences de génération de deuxième harmonique, ce qui, dans la limite de nos connaissances, constitue l'état de l'art pour ce type de guides.

REFERENCES

- [1] M. Gromovyi, et al. "Efficient second harmonic generation in low-loss planar GaN waveguides", Opt. Express 25 (2017) 23035-23044
- [2] M. Gromovyi, et al. "Interactions non linéaires efficaces dans des guides d'onde à base de GaN" JNOG O7:4, Limoges 4-6 Juillet 2017
- [3] X. Guo, et al. Second-harmonic generation in aluminum nitride microrings with 2500%/W conversion efficiency, Optica, vol. 3, no. 10, pp. 1126-11131, 2016
- [4] T. Troha, et al. UV second harmonic generation in AlN waveguides with modal phase matching, Optical Materials Express, vol. 6, no. 6, pp. 2014-2023, 2011
- [5] C. Xiong, et al. Integrated GaN photonic circuits on silicon(100) for second harmonic generation, Optics Express, vol. 19, no. 11, pp. 10462-10470, 2011
- [6] A. Stolz, et al. Optical waveguide loss minimized into gallium nitride based structures grown by metal organic vapor phase epitaxy, Applied Physics Letters, vol. 98, no. 16, pp. 161903, 2011

LASER À BOÎTES QUANTIQUES POUR LES TRANSMISSIONS OPTIQUES À HAUT-DÉBIT SANS ISOLATEUR

Heming Huang¹, Lyu-Chih Lin², Chih-Ying Chen², Dejan Arsenijević³, Dieter Bimberg^{3,4}, Fan-Yi Lin² et Frédéric Grillot¹

¹ *LTCI, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, 46 rue Barrault, 75013 Paris, France*

² *Institute of Photonics Technologies, Department of Electrical Engineering, National Tsing Hua University, Hsinchu 300, Taiwan*

³ *Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Berlin, Berlin 10623, Germany*

⁴ *King Abdulaziz University, Jeddah 21589, KSA*

heming.huang@telecom-paristech.fr

RÉSUMÉ

La sensibilité aux réflexions parasites d'un laser à boîtes quantiques InAs/GaAs émettant exclusivement sur la transition fondamentale est étudiée. Quelque soit la quantité de lumière réinjectée dans la cavité laser, les résultats montrent un comportement dynamique ultra-stable agrémenté d'une absence totale de route vers le chaos. Ces travaux ouvrent la voie à la conception de transmetteurs optiques sans isolateur optique.

MOTS-CLEFS : *laser à boîtes quantiques ; rétroaction optique externe*

1. INTRODUCTION

De part le caractère discret de la densité d'états, l'utilisation de boîtes quantiques (BQs) comme milieu de gain permet d'améliorer substantiellement les performances des lasers à semi-conducteurs [1]. En particulier, les lasers BQ InAs/GaAs présentent des propriétés très supérieures à celles des lasers à puits quantiques (PQ). La faible densité du courant de seuil, la grande stabilité en température et la grande réduction de l'énergie consommée par bit transmis font de ces lasers d'excellents candidats pour la photonique intégrée sur silicium ainsi que pour les liens optique courte distance à l'intérieur et entre les centres de données. Par rapport aux lasers PQ, ces structures possèdent en plus une meilleure résistance aux réflexions optiques parasites. Cet effet est la conséquence directe du couplage vertical entre les niveaux d'énergie lequel rehausse naturellement le facteur d'amortissement du laser [2]. Nonobstant, lorsque la quantité de lumière réinjectée dans la cavité devient trop importante, la possible occurrence d'oscillations chaotiques parasite le comportement dynamique du laser rendant ainsi obligatoire l'insertion d'un isolateur optique dans le module de transmission. De plus, l'émergence de l'état excité pour des niveaux de courants supérieurs au seuil peut produire des dynamiques à deux états relativement complexes et incompatibles avec des applications haut-débit. Dans ce papier, nous rapportons expérimentalement l'évolution dynamique d'un laser BQ en présence de rétroaction optique. Le laser étudié émet exclusivement sur la transition fondamentale ce qui lui confère des propriétés dynamiques remarquables. Ainsi, indépendamment de la quantité de lumière réinjectée dans la cavité et de la nature du retard optique ("court" ou "long"), les résultats montrent une très grande stabilité avec une absence de route vers le chaos. Nous proposons ici un nouveau concept de sources lasers compatibles pour les systèmes de transmissions à haut-débit opérant sans isolateur optique.

2. DISPOSITIF LASER ET MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Le laser BQ étudié est une structure Fabry-Perot (FP). La cavité est longue de 1 mm et la largeur du guide est de 2 μm . La région active contient 10 plans de BQ InAs fabriqués par épitaxie par jets moléculaires (MBE) [3]. Les courbes puissance-courant (P-I) du laser et le spectre optique mesuré à $2 \times I_s$ sont représentés sur les Fig. 1(a). A température ambiante (293 K), le laser BQ possède un courant de seuil I_s de 16,5 mA, un rendement quantique externe différentiel de 21% et un pic d'émission exclusivement

centré sur la transition fondamentale (1300 nm). Autrement dit, quelque soit le niveau de courant injecté, le laser n'émet jamais sur la transition excitée ce qui lui confère les propriétés remarquables explicitées ci-après.

La Fig. 1(b) représente le dispositif expérimental utilisé (espace libre). Le laser BQ est monté sur une tablette optique suspendue afin de minimiser les perturbations extérieures (vibrations). La cavité externe est située sur le côté gauche du laser, la puissance optique issue de la facette arrière est récupérée en utilisant une lentille traitée antireflet (AR) puis réfléchi par un miroir mobile permettant d'ajuster la longueur de cavité externe L_{ext} de 2 cm à 50 cm. Le taux de lumière réinjectée r_{ext} , défini comme le rapport de la puissance de retour à la puissance de sortie du laser est contrôlé par un atténuateur optique variable (AOV) incluant les pertes de couplage entre la facette et la cavité externe. La puissance optique sur la facette avant est couplée via une fibre micro-lentillée traitée AR puis envoyée vers les analyseurs de spectre optique et électrique. Le dispositif expérimental permet d'enregistrer une série de spectres optique et électrique en fonction de r_{ext} et ce pour plusieurs valeurs de la cavité externe L_{ext} .

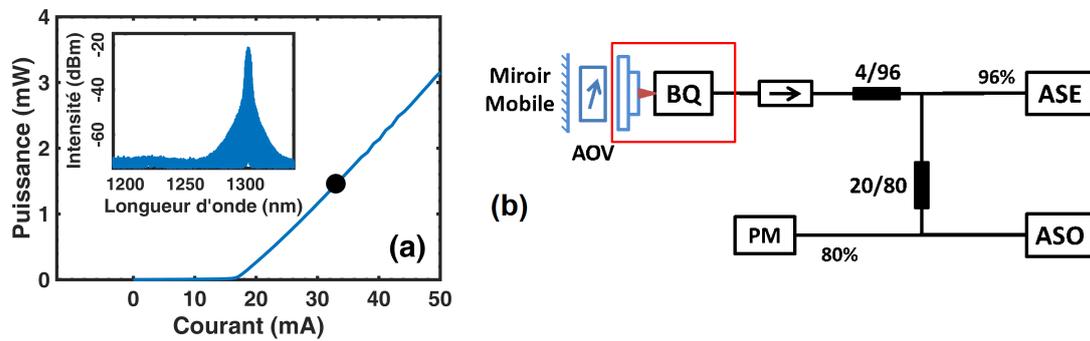


FIGURE 1 : (a) Courbes P-I du laser BQ, la figure insérée montre le spectre optique à $2 \times I_s$ (marqueur noir); (b) Dispositif expérimental en espace libre. PM : Puissance-mètre; ASE : Analyseur de spectre électrique; ASO : Analyseur de spectre optique; AOV : Atténuateur optique variable.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

La Fig.2(a) représente une cartographie des spectres électriques du laser en fonction de r_{ext} pour une cavité externe de 2 cm. Cette cartographie montre que le laser reste parfaitement stable et ce quelque soit le taux de réinjection. Seule quelques oscillations périodiques sont observées au-delà de $r_{ext} > 50\%$. Les spectres électriques représentés sur la Fig.2(b) confirment cette tendance. Par rapport au cas solitaire ($r_{ext} = 0$), le spectre électrique enregistré pour le taux de retour maximal ($r_{ext} \sim 76\%$) révèle un pic d'intensité modeste vers 4 GHz ce qui confirme la présence d'oscillations périodiques. En revanche, aucune route vers le chaos n'est observée ce qui montre que ce laser est quasi-insensible aux réflexions parasites.

La dernière partie vise à étudier la nature du retard sur la dynamique du laser. La Fig.3 représente l'évolution, en fonction de L_{ext} , du taux de réinjection délimitant la frontière entre le régime stable (S) et le régime périodique (P) discuté précédemment. La zone de transition entre les retards "court" et "long" est représentée par la droite verticale (orange) pour laquelle $f_{RO} \tau_{ext} = 1$ où f_{RO} est la fréquence d'oscillation du laser solitaire et τ_{ext} le temps aller-retour dans la cavité externe. Dans le cas du retard "court" ($f_{RO} \tau_{ext} < 1$), la mesure montre l'occurrence de petites ondulations associées aux interférences entre les modes de la cavité laser et ceux de la cavité externe. En revanche pour le cas du retard "long" ($f_{RO} \tau_{ext} > 1$), ces ondulations disparaissent, le taux de réinjection continuant de décroître, jusqu'à devenir progressivement indépendant de la longueur de la cavité externe donc de la phase de l'onde retour. Dans le cas limite, le taux de réinjection nécessaire pour observer cette oscillation périodique reste tout de même supérieur à 10%. Enfin, quelque soit la longueur de la cavité externe, aucune oscillation chaotique n'est observée dans ce laser. A titre de comparaison, la Fig. 3(b) représente les différentes dynamiques d'un

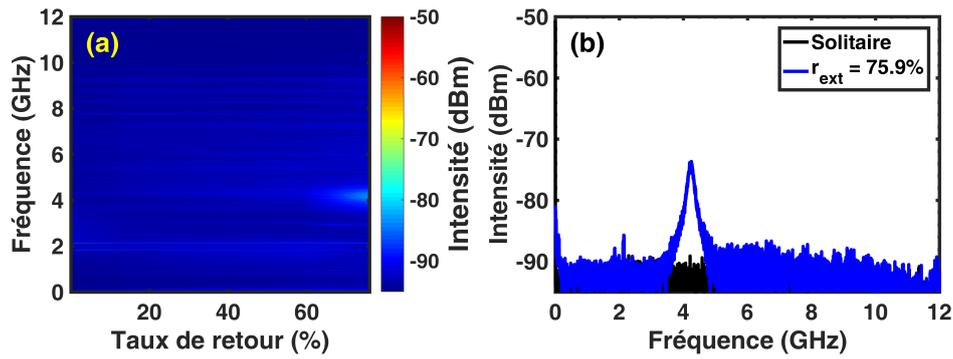


FIGURE 2 : (a) Cartographie des spectres électriques du laser BQ pour une cavité externe de 2 cm; (b) Spectres électriques pour le laser solitaire ($r_{ext}=0$) et pour le taux de retour maximal ($r_{ext} \sim 76\%$)

laser BQ n'émettant pas exclusivement sur l'état GS. La courbe en bleu délimite toujours la transition entre les dynamiques (S) et (P) tandis que celle en rouge révèle maintenant la frontière supérieure du régime (P) au-delà duquel le chaos (C) prédomine intégralement.

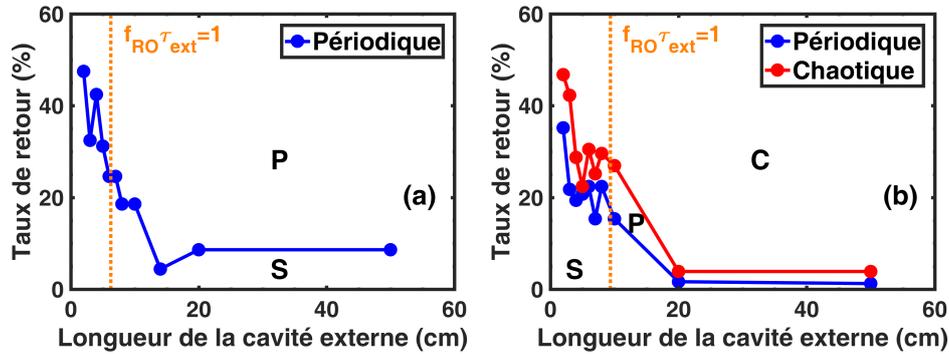


FIGURE 3 : Taux de réinjection correspondant à la frontière entre le régime stable (S) et périodique (P) en fonction de L_{ext} pour (a) le laser QD émettant exclusivement sur le GS; (b) un laser QD différent n'émettant pas exclusivement sur le GS. On note (S) : régime stable; (P) : oscillations périodiques; (C) : oscillations chaotiques.

CONCLUSION

La sensibilité aux réflexions parasites d'un laser BQ InAs/GaAs émettant exclusivement sur la transition fondamentale a été étudiée. Quelque soit la quantité de lumière réinjectée et la longueur de la cavité externe, les résultats expérimentaux montrent un comportement dynamique ultra-stable agrémenté d'une absence totale de route vers le chaos. Ces travaux ouvrent la voie à la conception de transmetteurs optiques sans isolateur optique.

RÉFÉRENCES

- [1] G. Eisenstein and D. Bimberg, eds., *Green Photonics and Electronics* (Springer, 2017).
- [2] A. Y. Liu et al., "Reflection sensitivity of 1.3 μm quantum dot lasers epitaxially grown on silicon," *Opt. Express* **25**, 9535-9543 (2017).
- [3] A. Kovsh et al., "InAs/InGaAs/GaAs quantum dot lasers of 1.3 μm range with enhanced optical gain," *J. Cryst. Growth* **251**, 729-736 (2003).
- [4] J. P. Toomey et al., "Integrated semiconductor laser with optical feedback : transition from short to long cavity regime," *Opt. Express* **23**, 18754 (2015).

LASER EN CAVITE ETENDUE PAR HYBRIDATION DE COMPOSANTS ACTIFS INP AVEC DES COMPOSANTS PASSIFS EN Si_3N_4

Sylvain Boust^{1,3}, Carmen Gomez¹, Jean-François Paret¹, Alexandre Garreau¹, Karim Mekhazni¹, Catherine Fortin¹, Jean-Guy Provost¹, Jean-Marc Fédéli², Peppino Primiani^{1,3}, François Duport¹, Frédéric van Dijk¹, et Marc Vallet³

¹ III-V Lab, GIE entre Thales Research and Technology, Nokia, et CEA LETI, 91767 Palaiseau Cedex, France

² CEA LETI, 38054 Grenoble, France

³ Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON – UMR 6082, F-35000 Rennes, France

sylvain.boust@3-5lab.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons une source laser hybride à 1,55 μm . Sa cavité de 2,4 mm est formée par la juxtaposition d'un amplificateur optique à semi-conducteurs sur InP et d'un miroir de Bragg contenu dans un guide d'onde en Si_3N_4 . Le miroir de Bragg est accordable au moyen d'une chaufferette intégrée au composant, le mode d'émission laser est ainsi choisi.

MOTS-CLEFS : circuits intégrés photoniques, laser hybride

1. INTRODUCTION

De nombreuses techniques comme par exemple le LIDAR cohérent, ou le traitement de signaux RF par voie optique, reposent entre autres sur la qualité spectrale de la source d'émission. Or les performances des sources lasers utilisées, en termes de puissance optique, de largeur de raie, d'accordabilité, et d'encombrement sont difficiles à optimiser simultanément. Dans le cas des lasers semi-conducteurs, les architectures DBR (Distributed Bragg Reflector lasers) et DFB (Distributed Feedback lasers) offrent les caractéristiques se rapprochant le plus des critères souhaités. Cependant la marge de progrès réalisable est faible si nous restons sur la base d'une cavité monolithique. En effet, une forte puissance optique, ainsi qu'une faible largeur de raie nécessitent de réaliser une cavité relativement longue [1].

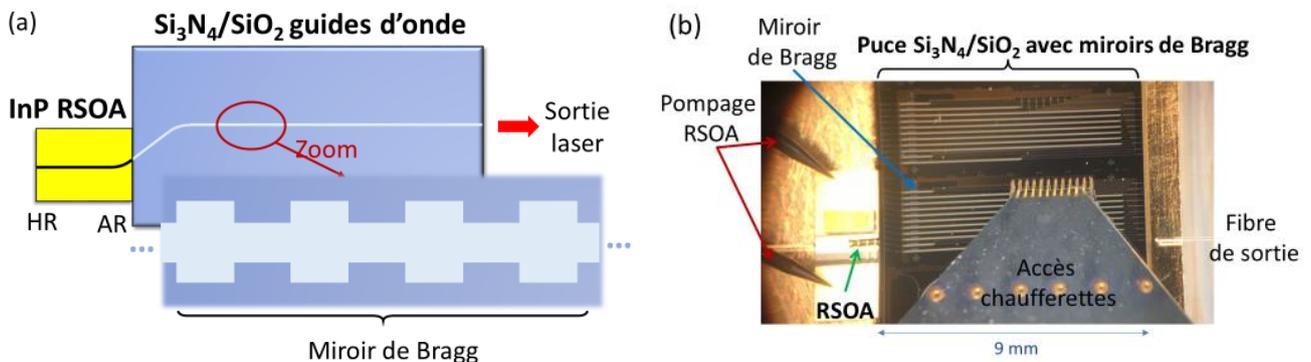


Fig. 1 : (a) Schéma de principe de la cavité du laser hybride, le circuit passif est un guide, contenant un miroir de Bragg formé par une indentation contrôlée du guide. (b) Photo de l'aboutement d'un RSOA et d'une puce contenant plusieurs miroirs de Bragg surmontés de résistances chauffantes.

Pour répondre à cette problématique, une technique récemment mise en place [2] est de réaliser un laser à cavité étendue en associant un milieu à gain sur semi-conducteur InP à une deuxième puce contenant une fonction optique [3], [4] avec un double rôle de filtrage et de réflexion du signal pour refermer la cavité laser. Cet ensemble forme un laser hybride, dont le schéma de principe est illustré en Fig 1.

Les deux miroirs de la cavité laser sont constitués du côté traité haute réflectivité (HR) de l'amplificateur optique à semi-conducteur (RSOA) sur InP et, du côté de la sortie du laser, du miroir de Bragg sur Si₃N₄. Grâce aux faibles pertes sur le composant passif, la longueur de la cavité peut être étendue sans augmenter significativement les pertes intra-cavité. Le temps de vie de photon intra-cavité sera alors allongé, permettant ainsi de réduire la largeur de raie minimal imposée par la limite intrinsèque de Schawlow-Townes [1].

2. DESCRIPTION ET CARACTERISATION

Dans notre cas, le RSOA est une structure SIBH (structure ruban enterrée utilisant des caissons latéraux en semi-isolant) à confinement optique asymétrique de 1 mm de long sur InP (Fig. 1b). La face arrière traitée HR forme le futur miroir du laser, tandis que l'autre face est non seulement traitée anti-réflexion (AR), mais également inclinée de 7° par rapport à l'axe de propagation pour éliminer les réflexions parasites. Le RSOA présente un gain centré à 1.55 μm assez fort pour compenser les pertes d'une grande cavité.

La puce passive est formée d'un guide d'onde en nitrure de silicium à section rectangulaire (90 nm*2.9 μm) encapsulé par de la silice. L'entrée du guide présente un angle de 15,5° par rapport à la normale à la facette de sortie de guide. Cet angle est choisi pour être en adéquation avec l'axe de propagation du faisceau émis par le RSOA lors de l'aboutement des deux composants. Le guide possède une longueur de 9 mm dans laquelle a été gravée sur 1,4 mm une indentation régulière pour réaliser un miroir de Bragg (M_B). Celui-ci présente un spectre de réflectivité centré à 1550 nm, avec comme condition d'être suffisamment réfléchissant pour permettre l'effet laser dans la cavité et d'être assez étroit pour filtrer les modes longitudinaux de la cavité étendue. La courbe de réflectivité, mesurée à l'aide d'un laser accordable et d'un circulateur, est rapportée en orange sur la Fig. 2.

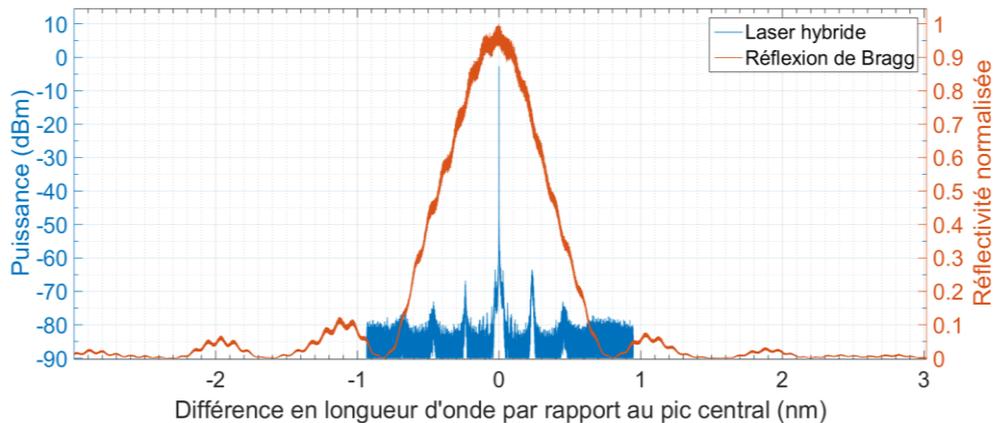


Fig. 2 : Spectre optique d'un laser hybride dont le RSOA est pompé à 200 mA (bleu) et de la réflectivité du miroir de Bragg seul (orange).

Le profil en réflectivité de M_B influence directement les performances du laser hybride. Lors de l'aboutement de ce dernier avec le RSOA, nous observons une oscillation laser monomode (Fig. 2, courbe bleue). Les autres pics correspondent à une émission résiduelle (càd sous le seuil) sur des modes longitudinaux adjacents de la cavité. L'intervalle spectral libre est égal à $28,7 \pm 0,1$ GHz, ce qui correspond à une longueur géométrique de cavité de 1 mm de RSOA auquel s'ajoute 1,4 mm de guide passif Si₃N₄. Dans cette configuration, nous notons que la longueur intra-cavité dans la puce passive correspond bien à celle de M_B que nous avons gravé lors de la fabrication.

Le seuil laser est obtenu pour un courant d'injection de 66 ± 1 mA dans le RSOA.

Enfin le taux de réjection (rapport des puissances dans le mode principal par rapport aux pics secondaires) est de $60 \pm 1 \text{ dB}$, constituant une oscillation monomode satisfaisante pour des applications lidars par exemple.

3. ACCORDABILITE

La longueur d'onde centrale réfléchi par le M_B s'écrit $\lambda_{Bragg} = 2\Lambda n_{moy}$, avec Λ la période du M_B et n_{moy} l'indice de réfraction moyen. Si la température du guide en Si_3N_4 change, λ_{Bragg} est modifiée, à la fois par dilatation et par effet thermo-optique. Par ce moyen, le miroir de Bragg peut être accordé en fréquence. Nous avons implanté sur notre guide d'onde, contenant le M_B , une résistante chauffante permettant de contrôler la température T_B du M_B . En injectant un courant dans celle-ci, nous avons observé une translation en fréquence de la réflectivité du M_B , cette translation étant linéaire avec T_B (Fig. 3a). Cette accordabilité, de $15 \text{ pm}/^\circ\text{C}$, permet de sélectionner différents modes longitudinaux de la cavité laser, comme le montre la Fig. 3b.

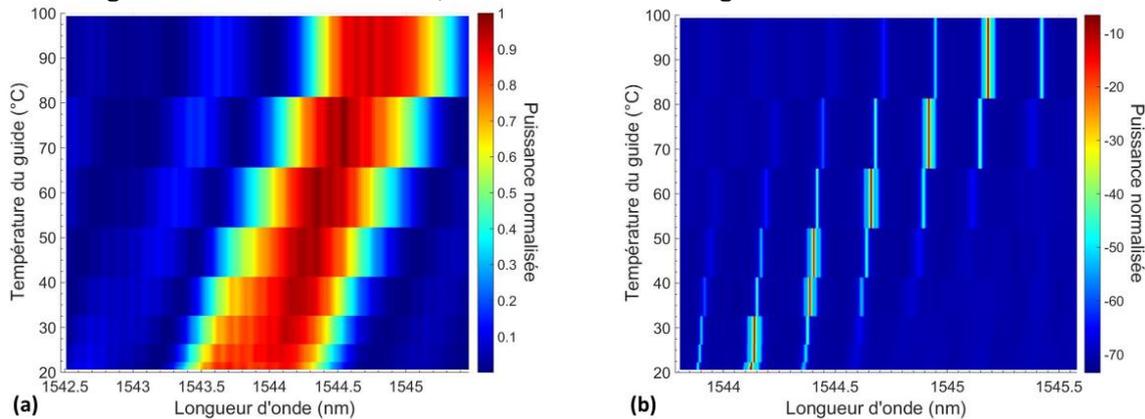


Fig. 3 : Cartographie du miroir de Bragg seul (a), et du laser hybride (b) pour différentes températures.

Notons qu'en ne variant que T_B , la fréquence du laser évolue de manière discontinue par sauts de mode. En effet, le changement de température décale seulement le filtre de Bragg permettant de faire osciller successivement un à un les modes longitudinaux.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons démontré la réalisation d'un laser à cavité étendue sur plateforme $\text{InP-Si}_3\text{N}_4$ intégré, permettant d'obtenir une source compacte et accordable. Plusieurs axes d'améliorations de ce laser hybride sont envisagés. En particulier, en réduisant les pertes intra-cavité (pertes de couplage RSOA/Bragg et linéiques), la puissance optique sera grandement améliorée. Nous espérons ainsi agrandir davantage la longueur de la cavité, et observer de très faible largeur de raie.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé avec le support du dispositif RAPID de la DGA.

RÉFÉRENCES

- [1] R. F. Kazarinov and C. H. Henry, "The Relation of Line Narrowing and Chirp Reduction Resulting from the Coupling of a Semiconductor Laser to a Passive Resonator," *IEEE J. Quant. Electron.* vol 23. p.1401 (1987).
- [2] A J. Zilkie, et al, "Power-efficient III-V/Silicon external cavity DBR lasers". *Opt. Express*, vol. 20, p. 23456 (2012).
- [3] H. Debregeas, et al, "2kHz linewidth C-band tunable laser by hybrid integration of reflective SOA and SiO_2 PLC external cavity," *IEEE Int. Semiconductor Laser Conf.* pp. 50–51, (2014).
- [4] Y. Fan, *Semiconductor-glass waveguide hybrid lasers with ultra-high spectral purity*, Ph.D. Dissertation, University of Twente, The Netherlands (2017).

MESURE RAPIDE DE LA COMPOSITION MODALE DE FIBRES OPTIQUES PAR IMAGERIE RESOLUE SPATIALEMENT ET SPECTRALEMENT

Lauriane Fouché¹, Claire Grosset-Grange¹, Philippe Morin², Quentin Maouhoub², Emmanuel Hugonnot¹

¹ CEA CESTA, 15 avenue des Sablières, 33116 Le Barp Cedex, France

² Alphanov, Institut d'Optique d'Aquitaine, Rue François Mitterrand, 33400 Talence, France

lauriane.fouche@cea.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons un banc de mesure du contenu modal de fibres optiques basé sur l'imagerie résolue spatialement et spectralement (S^2) et optimisé de façon à pouvoir effectuer des acquisitions de façon quasi instantanée. Pour cela, le système réalisé utilise le balayage continu en longueur d'onde d'un laser accordable et une caméra rapide (400 images/s). Le traitement numérique des données et leur affichage sont effectués en temps réel.

MOTS-CLEFS : *mesure modale*

1. INTRODUCTION

L'utilisation des technologies fibrées à la place des systèmes lasers état solide permet de réaliser des systèmes lasers plus compacts, plus stables et plus fiables. Par ailleurs, les progrès constants dans la conception de fibres optiques exotiques permettent, outre le fait de toujours mieux contrôler le faisceau laser, de délivrer des impulsions de forte puissance ou énergie pour un grand nombre d'applications, notamment pour injecter des installations lasers de puissance telles que le LMJ ou le NIF [1]. La conservation des propriétés temporelles et spectrales des faisceaux lasers est alors primordiale et il est alors important de pouvoir caractériser le contenu modal des fibres exotiques utilisées dans les systèmes réalisés.

Une méthode particulièrement adaptée est l'imagerie résolue spatialement et spectralement (méthode dite S^2) proposée par Nicholson *et al* [1][2][2]. Toutefois, l'inconvénient principal de cette méthode est la lenteur de l'acquisition la rendant inadaptée à certaines utilisations telles que l'optimisation d'une soudure. Dans la conférence, nous présenterons un système expérimental développé spécifiquement dans le but d'optimiser l'acquisition et qui permet d'obtenir des mesures en temps réel (\sim s).

2. CARACTÉRISATION MODALE PAR LA MÉTHODE S^2

Le principe de la méthode S^2 réside dans l'acquisition spatiale et spectrale du battement obtenu durant la propagation des différents modes d'une fibre optique.

Cette méthode permet de caractériser complètement les modes se propageant dans la fibre étudiée (nombre de modes, formes, poids relatifs...). Dans le montage type que nous utilisons (voir Fig. 1), un laser accordable permet d'assurer la résolution spectrale. Il faut alors acquérir, pour chaque longueur d'onde, la répartition spatiale de la puissance transmise au moyen d'une caméra [3]. On obtient à ce stade un spectre de cannelures pour chacun des pixels illuminés de la caméra. Ces spectres sont alors analysés numériquement afin de déterminer, en chaque pixel, quels sont les modes présents et leurs poids relatifs. On peut enfin procéder à la reconstruction des profils spatiaux des différents modes et déterminer leurs intensités relatives.

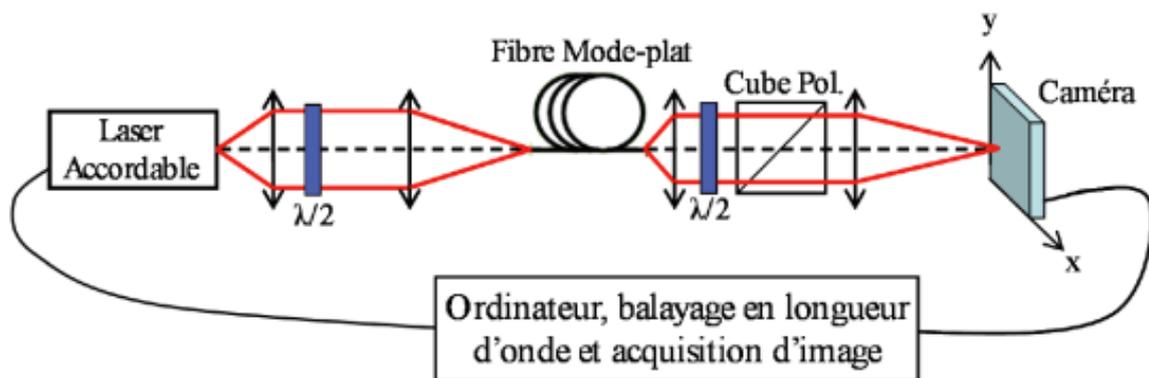


Fig. 1 : Schéma de principe du banc de mesure S². Un laser accordable en longueur d'onde assure le balayage spectral tandis que la caméra permet la résolution spatiale.

3. BANC DE MESURE TEMPS RÉEL

Il est possible, en adaptant le matériel utilisé dans le montage présenté précédemment, d'accéder au contenu modal d'une fibre en temps réel [4]. Le banc de mesure « temps réel » réalisé est présenté sur la figure 2.

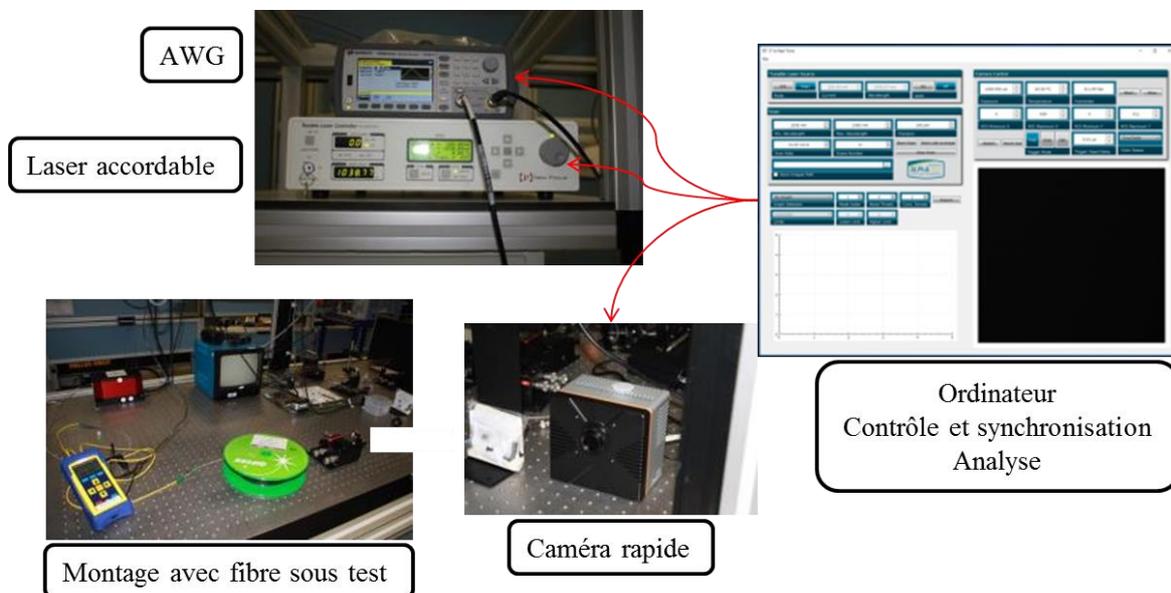


Fig. 2 : Composition du nouveau banc de mesure « temps réel ».

Le laser accordable utilisé permet de balayer de manière continue une plage de longueur d'ondes qui s'étend de 1030nm à 1070nm, à une vitesse de 10nm/s. L'acquisition des images est réalisée au moyen d'une caméra rapide pouvant fonctionner jusqu'à 400Hz. L'utilisation d'un générateur de fonctions arbitraires (AWG) permet de synchroniser le balayage en longueur d'onde du laser et l'acquisition par la caméra. Enfin, un logiciel de pilotage permet à la fois de contrôler les différents appareils et d'analyser en temps réel les différents résultats de mesure (forme et poids des différents modes présents, spectrogramme).

L'utilisation de ce nouveau banc permet de réduire le temps de mesure typique (traitement inclus) de 2h à seulement quelques secondes, permettant ainsi d'envisager de nouvelles utilisations telles que l'optimisation des process de soudures.

REFERENCES

- [1] L. Lago, D. Bigourd, A. Mussot, M. Douay and E. Hugonnot, "High-energy temporally-shaped nanosecond-pulse MOPA based on Ytterbium-doped single-mode microstructured flexible fiber", *Opt. Lett.* **36**, 5, 734-736 (2011)
- [2] J. W. Nicholson, S. Ghalmi, "Spatially and spectrally resolved imaging of modal content in large-mode area fibres," *Opt. Express*, **16**, 7233–7243 (2008)
- [3] D. M. Nguyen, T. Chartier, "Modal decomposition technique for multimode fibres", *Appl. Opt.*, **51**, 4, 450-456 (2012)
- [4] D. R. Gray, M. N. Petrovich, S. R. Sandoghchi, N. V. Wheeler, N. K. Baddela, G. T. Jasion, T. Bradley, D.J. Richardson, and F. Poletti, "Real-Time Modal Analysis via Wavelength-Swept Spatial and Spectral (S^2) Imaging", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol **28**, 9 (2016)

METHODE DE MESURE DE L'EVOLUTION DE L'ATTENUATION INDUITE PAR RADIATION DANS DES VERRES OPTIQUES PENDANT ET APRES IRRADIATION

Timothé Allanche¹, Sylvain Girad¹, Philippe Paillet², Vincent Goiffon³, Cyprien Muller^{1,2}, Aziz Boukenter¹, Youcef Ouerdane¹

¹ Laboratoire Hubert Curien, UMR 5516, Université Jean Monnet, 42000 Saint-Etienne

² CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon

³ ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse, F-31055, Toulouse

t.allanche@univ-st-etienne.fr

RESUME

Nous avons développé une méthode de caractérisation, permettant de mesurer l'évolution de Radiation Induced Attenuation (RIA) d'échantillons massifs sous rayonnement X. Ce montage permet de fournir aux concepteurs de systèmes optiques des données de RIA pré-guérison et de suivre la dynamique de création et de disparition des centres colorés

MOTS-CLEFS : *verres optiques, RIA, rayonnement ionisant.*

1. INTRODUCTION

Le projet FURIS, financé par Fusion for Energy (F4E) a pour objectif de démontrer la possibilité de concevoir une caméra durcie aux radiations basée sur un capteur CMOS pouvant supporter jusqu'à 1MGy. Les caméras qui découleront de ce projet permettront d'assurer la maintenance des parties d'ITER inaccessibles à cause du niveau de radiation. Le travail présenté ici est extrait de recherches déjà publiées [1]

Pour dépasser les limites en terme de résistance des caméras actuelles, il est nécessaire d'améliorer la résistance aux radiations de chaque composant, le capteur d'image [2], le système d'illumination et le système optique [3]. Une des difficultés principales concerne le budget optique. Même les capteurs CMOS les plus durcis voient leur courant d'obscurité augmenter avec la dose. Cela implique de travailler à un faible temps d'intégration (de l'ordre de la dizaine de ms) et cela rajoute des contraintes sur les autres parties de la caméra. Après avoir étudié les effets permanents des radiations sur les LEDs et les verres [3] il est possible de trouver des LEDs capables de compenser la dégradation des autres parties de la caméra et que certains verres ne développent que peu de RIA. Mais un des points à étudier reste la contribution en termes de RIA des défauts temporaires dans les verres optiques. La technique classique de comparaison de mesure pré et post-irradiation avec un spectrophotomètre [4] ne permet pas d'avoir accès à cette RIA temporaire et commencera à disparaître dès la fin de l'irradiation.

Nous présentons dans cet article un set-up conçu au Lab. Hubert Curien nous permettant de suivre en fonction de la dose l'évolution de la RIA. Il a été utilisé pour suivre la dynamique d'évolution des défauts transitoires jusqu'à quelques MGy sur de la silice pure, des verres optiques durcis par dopage au Cerium (Ce) et du BK7 comme référence.

2. MATERIEL ET METHODE

Les échantillons testés sont répertoriés Fig.1, le BK7 est un verre optique standard, le SF6G05, le BK7G18 et le K5G20 sont des verres durcis, dopé au Ce, avec respectivement 0.5, 1.8 et 2% de leur masse totale. La Suprasil est une silice pure connue pour être naturellement résistante aux radiations du fait de sa faible concentration en centres précurseurs [5].

La photographie **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente la partie du montage qui est placé dans l'irradiateur X (MOPERIX). Le montage complet est composé d'une source DH2000, connectée à une fibre optique multimode résistante aux radiations permettant de rentrer dans l'irradiateur X. Cette fibre est connectée à un miroir Thorlabs RC02SMA-F01 permettant de collimater le faisceau. Après avoir traversé l'échantillon, le faisceau est collecté par un autre miroir Thorlabs RC02SMA-F01 qui réinjecte la lumière dans une fibre optique qui guide la lumière jusqu'à un spectromètre Ocean Optics HR4000 placé à l'extérieur de l'irradiateur.

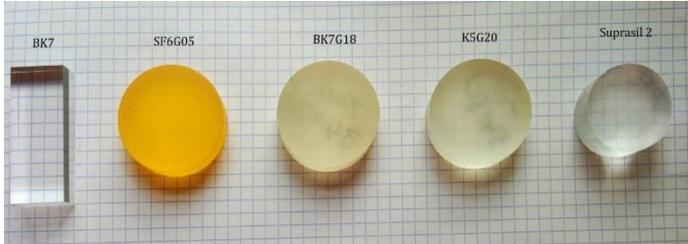


Fig.1 : Echantillons pré-irradiation

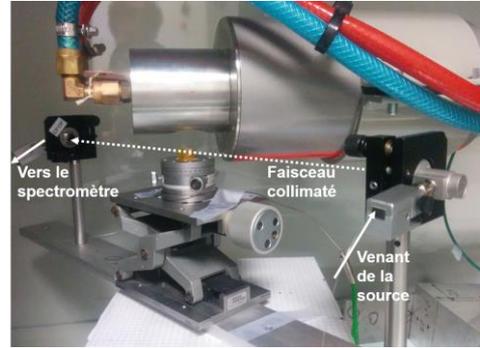


Fig.2 : photographie de la partie du set-up dans l'irradiateur X.

3. RESULTATS

Nous ne présentons ici les résultats que sur 2 des échantillons testés, les autres résultats seront discutés lors de la conférence. Il est intéressant de comparer le BK7 à son équivalent durci le BK7G18, car comme le montre les Fig.3 & Fig.4, ces verres ont des comportements sous radiation très différents. Alors que le BK7 est connu pour être sensible aux radiations [6], [7], ce qui est confirmé par nos mesures, qui en sus montrent l'évolution de sa RIA en loi de puissance. Le cas du BK7G18 qui est considéré comme très durci par SCHOTT [8] est intéressant. Du fait de sa guérison très importante et rapide (environ 65% en 20 heures), il serait difficile avec des mesures post-mortem d'estimer clairement sa RIA. Une telle cinétique est probablement causée par une forte génération de défauts métastables à température ambiante. Cette nouvelle technique de mesure permet de se rendre compte que ce BK7G18 qui en mesure post-mortem semble durci, ne devrait pas être utilisé dans un objectif de caméra visant des applications dans les environnements radiatifs.

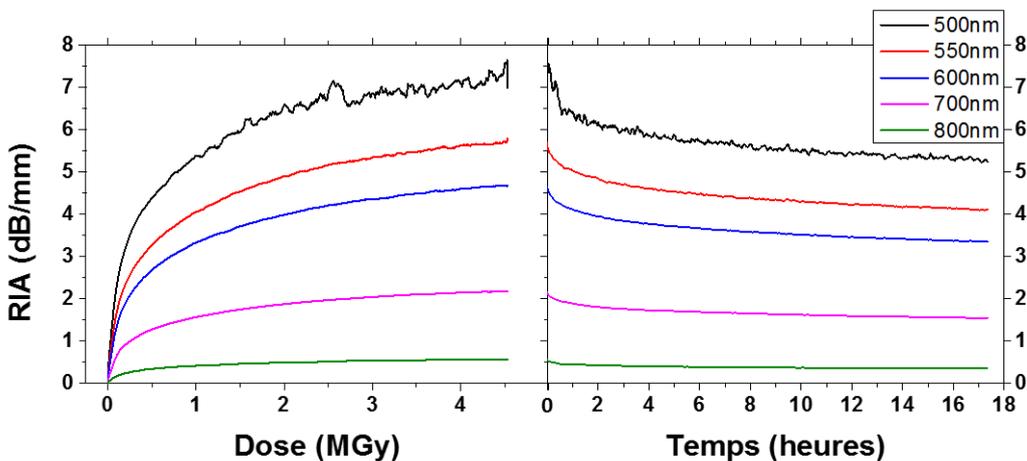


Fig.3 : Croissance et guérison de la RIA à des longueurs d'ondes sélectionnées pour le BK7

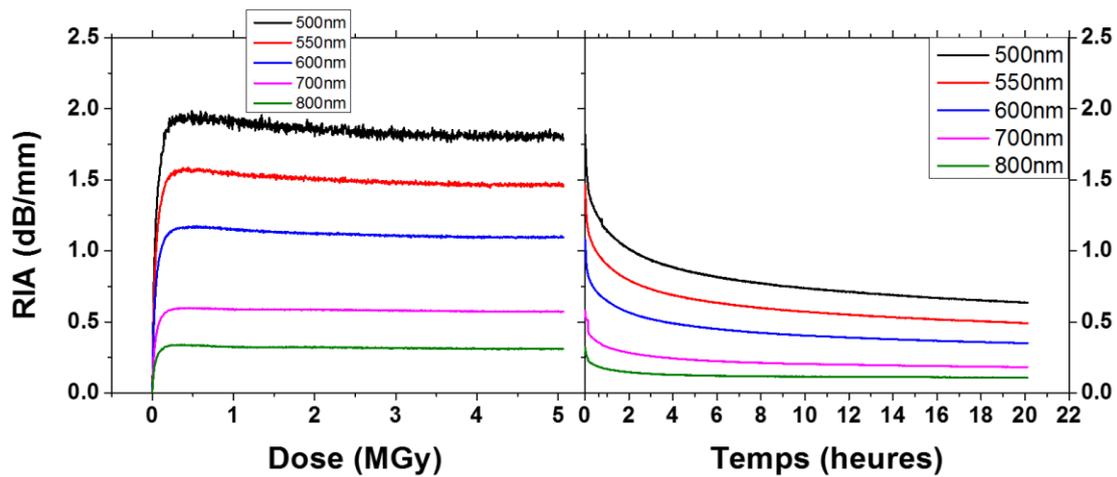


Fig.4 : Croissance et guérison de la RIA à des longueurs d'ondes sélectionnées pour le BK7G18

4. CONCLUSION

Dans un premier temps, cette méthode de caractérisation permet de fournir des valeurs de RIA non affectées par la guérison aux concepteurs de systèmes optiques durcis (que ce soit pour le spatial ou par exemple la physique des hautes énergies). Dans un deuxième temps, en appliquant cette méthode de caractérisation avec différents débits de dose et températures, il sera possible de créer des modèles qui permettront de prévoir les valeurs de RIA comme cela a déjà pu être fait pour les fibres optiques [9].

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. Girard *et al.*, "Growth and Decay Kinetics of Radiation-Induced Attenuation in Bulk Optical Materials," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, pp. 1–1, 2017.
- [2] V. Goiffon *et al.*, "Total Ionizing Dose Effects on a Radiation Hardened CMOS Image Sensor Demonstrator for ITER Remote Handling," *IEEE Trans Nucl Sci Vol 65 No 1*, Jan. 2018.
- [3] T. Allanche *et al.*, "Vulnerability and Hardening Studies of Optical and Illumination Systems at MGy Dose Levels," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 65, no. 1, pp. 132–140, Jan. 2018.
- [4] I. Manolis *et al.*, "The ESA RADGLASS activity: a radiation study of non rad-hard glasses," presented at the Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XIX, Toulouse, 2015, vol. 9639, pp. 96391N–1 96391N–15.
- [5] P. Martín, M. León, A. Ibarra, and E. R. Hodgson, "Thermal stability of gamma irradiation induced defects for different fused silica," *J. Nucl. Mater.*, vol. 417, no. 1–3, pp. 818–821, Oct. 2011.
- [6] D. Doyle, "Radiation Hardness of Optical Materiel," presented at the 3rd Europa Jupiter System Mission Instrument Workshop, ESA ESTEC, Noordwijk, Jan-2010.
- [7] M. Fruit, A. I. Gusarov, and D. B. Doyle, "Measuring space radiation impact on the characteristics of optical glasses: measurement results and recommendations from testing a selected set of materials," 2002, p. 132.
- [8] Schott Ltd, "Technical note: Radiation Resistant Optical Glasses," Feb. 2007.
- [9] M. Van Uffelen, "Modélisation de systèmes d'acquisition et de transmission à fibres optiques destinés à fonctionner en environnement nucléaire," PhD thesis, Université de Paris XI, France, 2001.

MICROLENTILLE À FAISCEAU EXPANSÉ EN CONNECTEUR STANDARD POUR CAPTEUR OPTIQUE À FIBRE MONOMODE EN ENVIRONNEMENT SÉVÈRE

Xavier Insou^{1,3}, Lionel Quénel², Sébastien Claudot³, Monique Thual¹

¹ Institut Foton, CNRS UMR6082, Université de Rennes 1, F-22305 Lannion, France

² IDIL Fibres Optiques, 21 rue Louis De Broglie 22300 Lannion, France

³ Souriau-Sunbank - Esterline ECT, RD323, 72470 Champagné, France

sclaudot@souriau.com

RÉSUMÉ

Nous proposons une microlentille à faisceau expansé en connecteur standard utile pour des applications capteurs à fibre monomode en environnement sévère. Ce connecteur offre de faibles pertes d'insertion de la bande O à la bande C, de faibles réflexions et des tolérances de positionnement relâchées par rapport à une connectique monomode.

MOTS-CLEFS : connectique; fibre monomode; microlentille; capteur à fibre optique

1. INTRODUCTION

La connectique en milieu sévère est un élément clé dans la mise en place d'une chaîne de capteurs à fibres optiques monomodes. L'un des plus grands challenges reste souvent de coupler le signal dans le composant. Des solutions consistent à élargir le faisceau mais souvent dans des connecteurs spécifiques et avec des résultats non optimisés [1]. Dans cet article, nous proposons une microlentille à faisceau expansé adaptée aux connecteurs standards et compatible avec un environnement sévère. Nous présentons la problématique, le principe de la microlentille à faisceau expansé proposée qui offre de faibles pertes d'insertion et de faibles réflectances, nous montrons sa robustesse aux polluants ainsi que deux exemples d'application dans des capteurs en milieu sévère.

2. PRINCIPE DES MICROLENTILLES À FAISCEAU EXPANSÉ

Du fait de leurs très petits diamètres de mode (MFD), les fibres monomodes sont très sensibles aux polluants, aux fortes puissances laser et aux défauts d'alignement en connectique fibre à fibre. Le fait d'élargir le faisceau en sortie de fibre monomode permet de relâcher les contraintes de positionnement latérales et axiales par rapport à des fibres monomodes comme le montre le tableau 1. Ce tableau donne les défauts d'alignement latéral Δx , axial Δz ou angulaire θ illustrés sur la Fig. 1 qui conduisent à 1 dB de pertes en excès entre deux fibres de diamètres de mode de 55 μm puis 110 μm comparés à deux fibres monomodes (MFD=10,5 μm) à la longueur d'onde de 1550nm.

Tab. 1: Tolérances de positionnement à - 1 dB.

MFD (μm)	θ ($^\circ$)	Δx (μm)	Δz (μm)
SMF 10.5	2.6	2.5	57
55	0.5	13	1560
110	0.25	26	6250

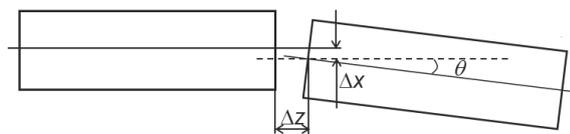


Fig. 1: Défauts de positionnement entre fibres.

Les tolérances latérales et axiales sont bien relâchées pour les faisceaux de 55 et 110 μm de diamètre mais les tolérances angulaires deviennent critiques (0.25 $^\circ$) pour le mode de 110 μm par rapport à la fibre monomode (2,6 $^\circ$). Un diamètre de mode de 55 μm est un bon compromis.

Pour obtenir ce faisceau étendu de $55\ \mu\text{m}$, nous avons mis au point une microlentille qui consiste à souder un tronçon de fibre à gradient d'indice (GIF) sur une fibre monomode (SMF) (voir Fig. 2) [2, 3]. Du fait du profil transverse parabolique d'indice de la GIF le faisceau gaussien de la fibre SMF s'élargit en se propageant dans la GIF. Si on coupe la GIF à l'endroit optimum L_{Glopt} où le diamètre de mode est maximum et où le rayon de front d'onde est plan, on obtient une microlentille SMF-GIF à faisceau expansé de distance de travail nulle.

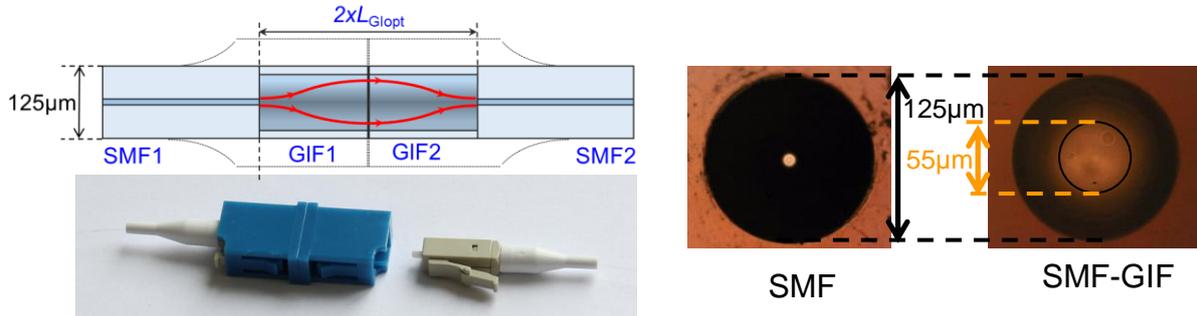


Fig.2 : (Gauche) Principe et photos des microlentilles en connecteurs LC; (droite) photo au microscope optique d'une microlentille à faisceau étendu de $55\ \mu\text{m}$ de MFD éclairée en lumière visible comparée à une SMF.

Les pertes d'insertion fibre à fibre de ces SMF-GIF en connectique LC sont de $0,5\ \text{dB}$ de la bande O à la bande C et les réflectances meilleures que $65\ \text{dB}$ dans des transmissions monomodes sans pénalité à $10\ \text{Gbits.s}^{-1}$ [2].

3. INTEGRATION DANS DES CONNECTEURS POUR ENVIRONNEMENT SÉVÈRE

Le diamètre extérieur maintenu à $125\ \mu\text{m}$ rend cette microlentille compatible avec une mise en connecteur standard de type LC (voir Fig. 2), FC, ST, voire multivoies (Fig. 3, gauche). De plus, le procédé de fabrication, très tolérant aux défauts de fabrication [3], garantit la répétabilité en termes de pertes d'insertion et de réflectance et le rend facilement industrialisable.

La robustesse de l'interface SMF GIF à trois contaminants : huile (MIL-PRF-7808, gouttelettes de 0.03ml), eau (gouttelettes de 0.03ml) et poussière (poudre de talc $10\ \mu\text{m}$) a été évaluée, en comparaison avec une SMF et une MMF (fibre multimode OM3). La Fig. 3, à droite, montre l'écart en perte d'insertion par rapport à des connexions non contaminées en connecteur LC pour 10 cycles d'accouplement et pour chaque type de contaminant. Ces résultats montrent que l'interface SMF GIF présente une robustesse similaire à celle d'une MMF en présence de contamination, et meilleure que celle d'une SMF.

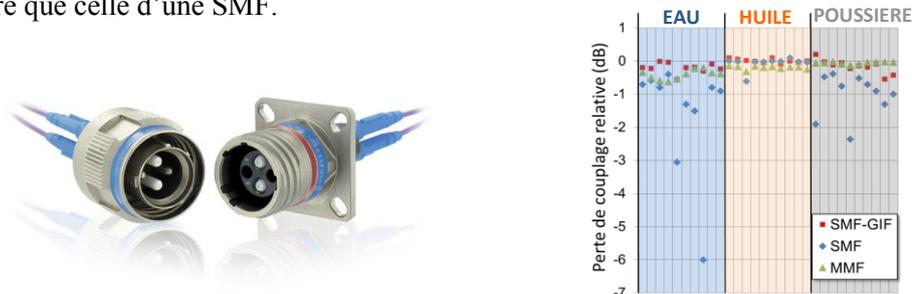


Fig. 3 : (Gauche) connecteur multivoies avec fibres à faisceau étendu; (droite) Pertes d'insertion additionnelles de connexions SMF GIF, MMF et SMF mesurées en contamination à l'eau, à l'huile et à la poussière.

Un tel comportement rend l'utilisation de ces connecteurs particulièrement utile en environnement sévère, notamment pour des applications de capteur. De plus, grâce aux fortes tolérances d'alignement, comme démontré au paragraphe 2, ces connecteurs à faisceau étendu sont moins sensibles à la dilatation thermique.

4. EXEMPLES D'APPLICATIONS DANS DES CAPTEURS À FIBRES OPTIQUES

L'étude du comportement dynamique d'une pale d'éolienne par des fibres à réseaux de Bragg (FBGs) a été réalisée par IDIL Fibres Optiques. Un multiplexage de FBGs à la longueur d'onde de 1550 nm, permet de mesurer la température, l'élongation et la pression. Les FBGs sont connectés à l'interrogateur via des connecteurs optiques. La Fig. 5 présente l'éolienne équipée de FBGs. Les positions de ces FBGs le long des fibres sont données en Fig. 6. Ce travail a été mené dans le cadre du projet AeroGust (Aeroelastic Gust Modelling) réunissant industriels et académiques et financé par l'Union Européenne (Horizon 2020). L'humidité, le brouillard salin, les lubrifiants d'engrenage et les vibrations rendent inévitables l'usage de connecteurs à faisceau expansé pour garantir la fiabilité du système sur le long terme.



Fig. 5: Eolienne équipée de FBGs.

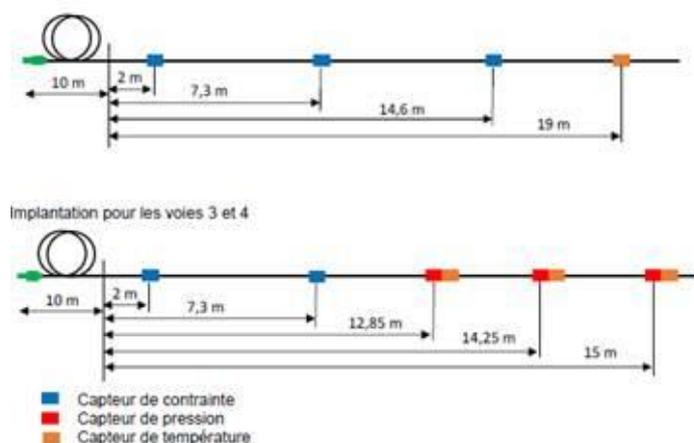


Fig. 6: Position des FBGs le long de la fibre.

IDIL Fibres Optiques a également réalisé dans les laboratoires d'IFREMER des expériences de mesures du processus de dispersion dynamique des vagues sur la base de l'effet Brillouin à 1550 nm également. La fibre était fixée sur un film néoprène qui flottait à la surface d'un bassin d'eau de mer. L'eau de mer, les polluants et le roulis rendent incontournables l'usage de connecteurs à faisceau expansé.

CONCLUSION

Nous avons analysé théoriquement et démontré expérimentalement l'usage d'une fibre à faisceau expansé intégrée dans des connecteurs standards pour des applications de capteurs optiques monomodes à faibles pertes d'insertion et à faibles réflexions. Ces connecteurs autorisent la transmission de signaux à au moins 10 Gbit.s^{-1} , peuvent être utilisés dans une large gamme de longueurs d'onde ($>200 \text{ nm}$) et devraient également supporter davantage de puissance qu'une connexion SMF classique (plus de 100 W espéré). Du fait de ses spécifications, de tels connecteurs peuvent être utilisés dans un large domaine d'applications incluant des parties mobiles comme des joints tournants.

RÉFÉRENCES

- [1] D. Childers, M. Hughes, S. Lutz, and T. Satake, "Design and performance of expanded beam, multi-fiber connectors", ThC1, Invited paper, Los Angeles, Optical Fiber Communication 2015.
- [2] S. D. Le, M. Gadonna, M. Thual, L. Quéstel, J-F. Riboulet, V. Metzger, D. Parker, A. Philippe, and S. Claudot, "Reliable Expanded Beam Connector Compliant with Single-mode Fiber Transmission at 10 Gbit/s", oral session, section D1.5 W4B.5, Los Angeles, Optical Fiber Communications 2015.
- [3] S. D. Le, P. Rochard, J.-B. Briand, L. Quéstel, S. Claudot, and M. Thual, "Coupling Efficiency and Reflectance Analysis of Graded Index Expanded Beam Connectors", Journal of Lighthwave Technology, Vol. 34, N°9, pp. 2092-2099, May 1, 2016.

OPTIMISATION DE FIBRES À CRISTAUX PHOTONIQUES POUR LA CONVERSION A HAUTE-PUISSANCE DANS LA DOMAINE VISIBLE PAR MELANGE A QUATRE ONDES DE SOURCES YTTERBIUM PICOSECONDE POUR LES APPLICATIONS BIOMEDICALES.

Jean-Christophe Delagnes,¹ Romain Royon,^{1,2} Jérôme Lhermite,¹ Denis Marion¹, Nicolas Valéro¹, Giorgio Santarelli,³ Hector Muñoz,⁴ Timea Grosz,⁵ Dia Darwich,⁶ Romain Dauliat,⁶ Raphael Jamier,⁶ Philippe Roy⁶ and Eric Cormier¹

¹ CELIA, Centre Lasers Intenses et Applications, Université de Bordeaux-CNRS-CEA, UMR 5107, F-33405 Talence Cedex, France

² SATT Aquitaine Science Transfert, Bâtiment A31 – 3ème étage, 351, cours de la Libération, F-33405 Talence Cedex, France

³ LP2N (UMR5298), IOGS-Université de Bordeaux -CNRS, 351, cours de la Libération, F-33405 Talence Cedex, France

⁴ FYLA, Ronda Guglielmo Marconi 12, 46980 Paterna – Valencia, Spain

⁵ University of Szeged, Dom ter 9, H-6720 Szeged, Hungary

⁶ Université de Limoges, CNRS, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France

jean-christophe.delagnes@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons une étude détaillée des résultats théoriques et expérimentaux sur le design de fibres à cristaux photoniques (PCF) pour la conversion vers le visible de 620 à 910 nm (domaine d'intérêt biomédical) et l'infrarouge moyen d'une source Yb picoseconde très largement accordable par mélange à quatre ondes dégénéré.

MOTS-CLEFS : *fibres à cristaux photoniques ; laser ytterbium fibré ; mélange à quatre ondes ; laser visible*

1. INTRODUCTION

Les sources lasers dans le domaine visible attirent une attention considérable en raison du nombre croissant d'applications dans le domaine académique, médical et industriel. Il existe cependant peu de matériaux actifs dans ce domaine, et le visible est produit par conversion de fréquence (seconde harmonique, somme de fréquence) ou conversion paramétrique (OPA, mélange à quatre ondes) de lasers infrarouges (Nd, Er, Yb). Ceux-ci représentent une alternative intéressante notamment avec la nette augmentation de l'efficacité de ces processus non-linéaires à partir de sources toujours plus compactes, stables, et puissantes.

Dans ce contexte, la grande efficacité et la forte brillance des fibres à double gaine dopées aux terres rares – et en particulier la grande largeur spectrale de gain de celles dopées à l'ytterbium (Yb^{3+}) – en font des lasers de pompe agiles en longueur d'onde, idéaux pour les processus paramétriques dans les fibres [1]. En effet, confinement et guidage permettent d'obtenir des effets non-linéaires du troisième ordre facilement observables, même pour des puissances crêtes modestes (< MW). Parmi ces effets du troisième ordre, la compétition et les effets combinés du mélange à quatre ondes dégénéré (d-FWM), de l'effet Kerr optique (OKE) et Kerr croisé (X-OKE), ainsi que de la diffusion Raman spontanée et stimulée (SpRS, SRS) donnent lieu à des modifications spectaculaires du spectre laser, soit avec un élargissement important autour de la longueur d'onde centrale, ou simplement un décalage vers le visible ou l'IR. Bien que reposant sur la même non-

linéarité, les propriétés des rayonnements obtenus diffèrent sensiblement. En prenant en compte les avantages et les inconvénients des différents processus, le mélange à quatre ondes dégénéré (d-FWM) s'impose comme le plus approprié pour convertir efficacement (jusqu'à 30 %) vers le visible des rayonnements proche infrarouge d'intensité modérée mais de forte puissance moyenne, tout en offrant un très large accordabilité. En d-FWM, l'accord de phase entre les constantes de propagation $\beta^{(m)}(\omega_m) = n_{\text{eff}}(\omega_m) \cdot \omega_m / c$ des ondes pompe ($m = p$), anti-Stokes (signal $m = s$) et Stokes (idler $m = i$) sur le même mode transverse s'écrit :

$$\beta^{(s)}(\omega_s) + \beta^{(i)}(\omega_i) - 2\beta^{(p)}(\omega_p) + \beta_{NL} = 0. \quad (1)$$

avec $\hbar\omega_s + \hbar\omega_i = 2\hbar\omega_p$ et où $\beta_{NL} = 2\gamma P_p$ désigne la constante de propagation non-linéaire effective due à l'effet Kerr ($\gamma = n_2\omega/cA_{\text{eff}}$) de la pompe de puissance crête P_p [2].

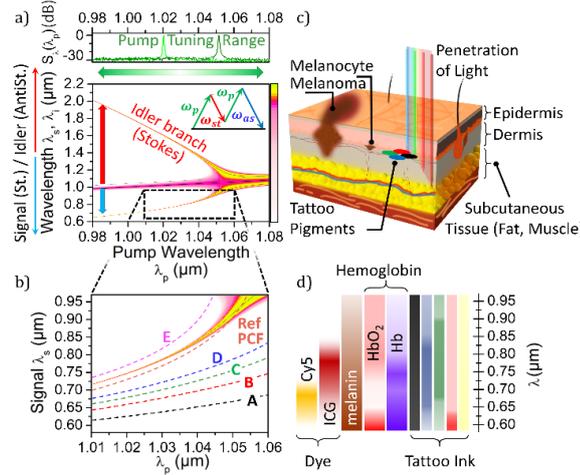


Fig. 1 : a) Gain normalisé (de 0 à 1) vs domaine d'accordabilité de la source Yb (insert supérieur), b) Détail de la branche Signal (AntiStokes) montrant les différentes courbes d'accord de phase des fibres testées, c) Coupe schématique de la peau humaine, et d) Bandes d'absorption typiques de fluorophores et pigments (Cy5, ICG (IndoCyanin Green), mélanine, oxy- et desoxy-hémoglobine, pigments de tatouages).

L'architecture et la composition chimique des PCF permettent d'ajuster très finement leurs propriétés de dispersion. On est ainsi capable, pour un domaine d'accordabilité de la pompe (insert supérieur fig.1.a), d'optimiser les bandes accessibles pour l'onde signal (fig.1.a et 1.b) et pour l'onde idler (fig. 1.a). Les propriétés uniques de confinement des structures photoniques permettent d'obtenir des aires modales effectives. Les PCF offrent ainsi la possibilité d'appliquer des lois d'échelles sur leur design afin de permettre leur fonctionnement à forte puissance moyenne, et plus particulièrement la production de rayonnements visible (signal) et moyen-infrarouge (idler) très largement accordables et de forte brillance. On peut ainsi atteindre des domaines de longueurs d'onde compatibles avec des applications biomédicales comme les traitements des affections de la peau (fig.1.c), le détatouage (fig 1.c et 1.d), ou l'excitation de fluorophores (fig.1.d)

2. MODELISATION ET REALISATION DE LA STRUCTURE PHOTONIQUE

Afin de designer des fibres PCF optimisées pour la production de visible par d-FWM, nous avons simulé plusieurs structures hexagonales air-silice, mais aussi avec des inclusions dopées au bore (B) ou au fluor (F). Nous avons employé la méthode des éléments finis permettant de déterminer les constantes de propagation des modes guidés puis mis au point un programme calculant le zéro de dispersion λ_{ZD} , l'évolution spectrale de la courbe de dispersion $\beta(\omega)$ et ses dérivées $\beta_n(\omega)$ d'ordres supérieurs (jusqu'à $n=5$). Ces dernières permettent notamment de résoudre l'Eq. (1) en développant les expression $\beta^{(m)}(\omega_m)$ ($m=p, s, i$) au voisinage de $\omega_{ZD}=2\pi c/\lambda_{ZD}$. Nous pouvons ainsi élaborer des fibres couvrant le visible, et évaluer les courbes d'accord de phase en résolvant l'Eq. (1) pour le décalage Stokes $\Omega = \omega_s - \omega_p = \omega_p - \omega_i$. Nous avons également résolu

numériquement l'équation de Schrödinger non-linéaire à 1D (sans effet vectoriel) afin d'obtenir la dynamique d'évolution du signal/idler (amplitudes, gain, built-up du spectre, ...). Outre ses propriétés de dispersion, le design de la microstructure doit également supporter une propagation monomode transverse ayant la plus grande aire modale possible afin de permettre leur fonctionnement avec des impulsions de forte énergie. Enfin, la géométrie finale doit être compatible avec les étapes de fibrage (stabilité des structures). Parmi les différentes structures étudiées théoriquement, seules les structures air/silice ont pu être réalisées et caractérisées pour le moment. La méthode stack-and-draw à base de silice de synthèse (Heraeus HSQ®300) a été utilisée pour réaliser les fibres. La mesure de profil des fibres a permis de calculer les aires modales, ainsi que les coefficients non-linéaires effectifs γ . Les résultats obtenus sont en très bon accord avec la littérature.

3. MONTAGE EXPERIMENTAL ET RESULTATS

Afin de valider le modèle et mettre en évidence la bande d'accordabilité correspondant au design prédit, nous avons étudié les caractéristiques (spectre, énergie...) du signal produit par d-FWM à la sortie de différentes fibres réalisées. Pour cela, nous utilisons une source fibrée Yb^{3+} en configuration MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) que nous avons développée [3, 4]. L'injecteur est une source continûment accordable entre 1020 et 1050 nm, qui délivre des impulsions de 50 ps à une cadence de répétition de 10 MHz, de puissance moyenne > 1 mW sur tout le domaine d'accordabilité. Ces impulsions sont successivement amplifiées dans deux étages fibrés pour atteindre une puissance de 4 W (jusqu'à 20 W). L'émission du visible au proche infrarouge du signal et de l'idler correspondant est finalement obtenue par d-FWM dans des fibres PCF hautement non-linéaires. Les spectres (signal + pompe + idler) sont mesurés de 350 nm à 1750 nm avec un analyseur de spectre optique (Ando AQ6315E). Nous avons également comparé plusieurs méthodes de caractérisation de la dispersion de fibres obtenue soit en interférométrie en lumière blanche, soit à partir de courbes d'accord de phase de d-FWM [6]. Nous avons enfin étudié les efficacités de conversion des fibres en fonction de la longueur de fibre, de la longueur d'onde et de la puissance de pompe, qui montrent un excellent accord entre simulation et expérience.

CONCLUSION

Nous avons prédit et testé différentes structures de PCF adaptées aux caractéristiques d'une source Yb picoseconde accordable afin de couvrir le plus grand domaine de longueurs d'onde pour l'onde visible [6]. Pour l'ensemble des fibres testées, les spectres obtenus varient de 620 nm à 910 nm. La puissance moyenne > 1 W est obtenue sur l'ensemble du rayonnement visible généré, correspondant à une énergie par impulsion de 0,1 μJ . L'efficacité de conversion du d-FWM en simple passage est d'environ 20 à 30% proche de la valeur théorique. Il y a également un très bon accord entre les longueurs d'onde prédites et générées pour l'ensemble des fibres, ainsi que sur les formes spectrales et les efficacités de conversion. En outre, nos mesures valident les prédictions théoriques issues des simulations numériques, et ainsi la démarche d'élaboration des fibres suivie.

RÉFÉRENCES

- [1] E. A. Zlobina et al., "Phase matching for parametric generation in polarization maintaining photonic crystal fiber pumped by tunable Yb-doped fiber laser," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 29, p 1959, 2012.
- [2] G. P. Agrawal, "Nonlinear Fiber Optics," Academic Press, 2001.
- [3] R. Royon, et al., "High power, continuous-wave ytterbium-doped fiber laser tunable from 976 to 1120 nm," *Opt. Express* 21, 13818-13823 (2013)
- [4] R. Royon, et al., "Continuously tunable sub-ns ytterbium-doped MOPA system for frequency conversion," in *CLEO/Europe and EQEC 2011 Conference Digest, OSA Technical Digest (CD)* (Optical Society of America, 2011), paper CJ_P13.
- [5] M. Droques, et al., "Simple Method for Measuring the Zero-Dispersion Wavelength in Optical Fibers," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 23 (10), 609–611 (2011).
- [6] J. C. Delagnes, et al., "High-power widely tunable ps source in the visible based on four wave mixing in optimized photonic crystal fibers," accepted to *Opt. Express* 26 (9) (2018)

OPTIMISATION DE RESEAUX DE BRAGG POUR LA CONCEPTION DE LASER A FIBRE DE PUISSANCE A 1, 1.5 ET 2 μM

Laurent Lablonde, Bertrand Dudoux, Olivier Rabine, Emmanuel Pinsard, Carine Ranger, Arnaud Laurent, Thierry Robin, Benoit Cadier

ixBlue, rue Paul Sabatier, 22300 Lannion, France

laurent.lablonde@ixblue.com

RÉSUMÉ

La conception des miroirs d'un laser à fibre continu monomode pouvant émettre jusqu'à 1 kW requiert un procédé spécifique. Nous présentons la réalisation et l'évaluation de FBG inscrits sur différentes fibres optiques. Des résultats de pentes thermiques au signal améliorées d'un facteur > 10 et pouvant atteindre $0.1^\circ\text{C}/\text{W}$ pour une fibre suspendue dans l'air calme seront présentés tout en développant les techniques de mesures employées.

MOTS-CLEFS : *Réseau de Bragg ; Laser à fibre ; LMA, haute puissance*

1. INTRODUCTION

On retrouve aujourd'hui les lasers à fibre de forte puissance en technologie dite double-gaine sur différentes gammes de longueurs d'onde et couvrant diverses applications. Une part importante du marché porte sur les lasers à fibre émettant à une longueur d'onde proche de $1 \mu\text{m}$. Ils sont utilisés massivement dans l'industrie pour la découpe, la soudure, la gravure ainsi que le traitement thermique des pièces mécaniques [1]. On retrouve aussi la réalisation de sources lasers de puissance à $1.5 \mu\text{m}$ dans le domaine médical, les LIDAR longue portée ou encore les télécommunications spatiales [2]. De plus, des besoins apparaissent aujourd'hui sur la réalisation de lasers à fibre dopée thulium émettant dans la gamme $2 \mu\text{m}$ à des puissances supérieures à 30 W sur des fibres de diamètre $125 \mu\text{m}$. Ils permettent par exemple de traiter des matériaux non métalliques tout en préservant la sécurité oculaire. Les lasers à fibre sont polyvalents, monolithiques, offrent une bonne qualité de faisceau et sont en principe exempts de maintenance. Les diodes de pompe ayant une brillance de plus en plus forte, les puissances mises en jeu dans les lasers deviennent de plus en plus élevées. Les miroirs à réseaux de Bragg (FBG), éléments incontournables dans la conception des lasers à fibre, sont des sources potentielles d'échauffement et de perturbation de la stabilité de puissance du laser. Dans cette étude, nous présentons des résultats d'échauffement au flux du laser obtenus par un procédé de fabrication standard puis par un procédé optimisé ainsi qu'un profil de réseau compatible avec des lasers de classe kW à $1 \mu\text{m}$.

2. CONCEPTION ET EVALUATION SOUS FLUX DE FBG

L'échauffement des FBGs trouve son origine dans deux contributions. La première correspond à l'absorption par le revêtement d'une fraction de la puissance de pompe multimode confinée dans la gaine optique silice de la fibre par l'interface du revêtement primaire fluoro-polymère de faible indice. En effet, la photoinscription du réseau de Bragg nécessite de retirer préalablement, sur quelques centimètres, le revêtement de la fibre non transparent à la longueur d'onde d'inscription. Ce qui entraîne une dégradation de l'intégrité du guide suite aux opérations de dénudage, nettoyage et regainage [3]. L'autre contribution vient d'un échauffement par le signal du laser confiné dans le cœur de la fibre et correspondant à des mécanismes de pertes induites par la photoinscription du FBG. La fiabilité long terme des réseaux est limitée par la dégradation thermique du revêtement de la fibre. En se limitant à une élévation de température de 50°C par rapport à la température ambiante, la pente

thermique ne doit pas donc dépasser $0.05 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Afin d'évaluer cette dernière contribution, nous avons photoinscrit des réseaux de Bragg sur différentes fibres passives aux longueurs d'onde de Bragg λ_B situées autour de 1 et $1.5 \text{ } \mu\text{m}$. Certains réseaux ont été fabriqués selon un protocole standard et d'autres selon un protocole spécifique, reposant à la fois sur un traitement et une photoinscription particulière de la fibre. Les conditions de réalisation sont indiquées dans le tableau 1. Durant le protocole de réalisation standard, généralement utilisé par les fabricants de FBG, nous avons hydrogéné la fibre à 200 bars, $80 \text{ }^\circ\text{C}$ durant 48 H puis photoinscrit avec un laser à impulsions nanosecondes dans l'UV avec la méthode du masque de phase ou avec un interféromètre de Talbot. Les réseaux uniformes ont une longueur de 1 ou 2 mm. Les fibres sont ensuite placées dans un four à $80 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant 2 jours pour la désorption et la stabilisation des réseaux. La réflectivité obtenue est supérieure à 98 % pour les R_{max} et comprise entre 4 et 20 % pour les R_{min} .

Fibre	Protocole de réalisation	Profil de FBG (réfl, longueur, FWHM)	λ_B (nm)
10/130 μm ON 0.10	standard	R_{max} (99.9%), 1mm, 1.4nm	1020
10/130 μm ON 0.10	standard	R_{min} (16 à 18%), 1mm, 0.4nm	1020
10/130 μm ON 0.10	optimisé	R_{max} (99.7%), 1mm, 0.8nm	1068
10/130 μm ON 0.15	standard	R_{max} (99%), 2mm	1552
10/130 μm ON 0.15	standard	R_{min} (9 à 19%), 2mm	1551
10/130 μm ON 0.15	optimisé	R_{max} (99%), 2mm	1552
10/130 μm ON 0.15	optimisé	R_{min} (6 à 14%), 2mm	1551
12/130 μm ON 0.17	standard	R_{max} (99%), 2mm	1554
12/130 μm ON 0.17	standard	R_{min} (10 à 17%)	1553
12/130 μm ON 0.17	optimisé	R_{max} (99%)	1554
12/130 μm ON 0.17	optimisé	R_{min} (4 à 12%)	1553
6/130 μm ON 0.17	standard	R_{max} (99%)	1551
6/130 μm ON 0.17	standard	R_{min} (7 à 15%)	1550
6/130 μm ON 0.17	optimisé	R_{max} (99%)	1551
6/130 μm ON 0.17	optimisé	R_{min} (4 à 10%)	1550

Tab. 1 : Liste des FBGs employés pour l'évaluation de pente thermique

Afin de caractériser l'échauffement des FBG par le flux du laser, nous mesurons la pente thermique pour le signal, induite par l'injection dans le cœur de la fibre d'un laser monomode externe de puissance réglable, aux longueurs d'onde 1, 1.5 et $2 \text{ } \mu\text{m}$ désaccordées par rapport au spectre de réflexion du FBG pour éviter un retour vers la source laser. Cette caractéristique intrinsèque d'échauffement de la fibre est obtenue en suspendant la fibre dans un air calme afin de limiter le phénomène de convection et de conduction avec l'environnement de test. La pente thermique pour la pompe est déterminée en injectant dans la gaine optique de la fibre à réseau, le flux d'un laser multimode dont la puissance est distribuée sur 95 % du cône d'acceptance, soit avec une ouverture numérique (ON) d'injection > 0.45 . L'échauffement est mesuré par une analyse thermographique. Chaque réseau est injecté tour à tour par les trois longueurs d'onde signal (figure 1).

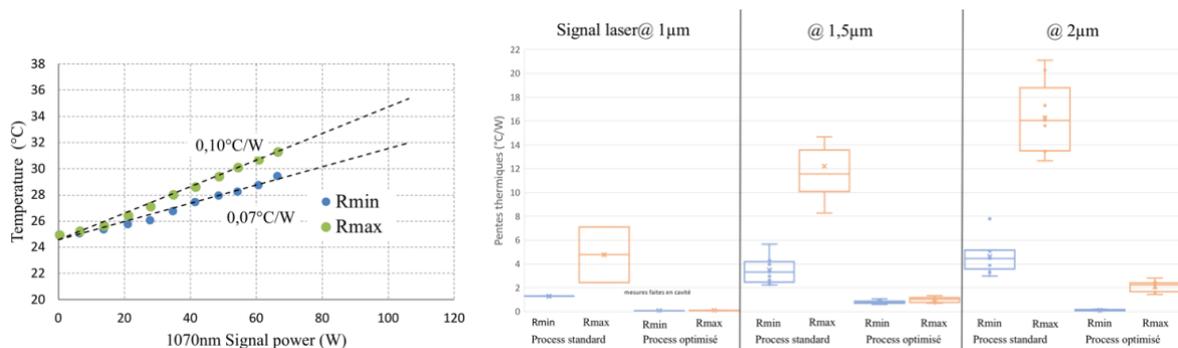


Fig. 1 : Pente thermique au signal des FBGs : détermination et dispersion des résultats toutes fibres

3. CAVITE POUR LASER KW A 1 MICRON

Afin d'évaluer notre recette optimisée sur une cavité prévue pour être insérée dans un laser kW, des FBGs ont été inscrits sur une fibre passive double-gaine iXblue 20/400 μm d'ON 0.065 pour le cœur et 0.46 pour la gaine optique. Rmax et Rmin ont une longueur respective de 21 et 15 mm, un chirp de 0.8 nm/cm et un profil d'apodisation de forme tangente hyperbolique. La réponse monomode du Rmax est obtenue en réalisant une boucle de diamètre de 10 cm à quelques centimètres en amont du FBG et en limitant l'élévation d'indice photoinduite. Le mode LP11 est ainsi fortement atténué par la boucle. Le Rmax de 99 % à $\lambda_B=1069.2$ nm, de ripple < 0.2 dB à une largeur de bande de 2.2 nm à -3 dB. Le Rmin de 11 % a une largeur de 1.4 nm. L'amplitude de modulation d'indice est estimée à 4.5×10^{-4} pour le Rmax et 0.5×10^{-4} pour le Rmin. Les pentes thermiques ont été déterminées en injectant un laser monomode de longueur d'onde 1072 nm puis une pompe multimode de longueur d'onde 915 nm. Nous avons obtenu une pente thermique pour le signal de 0.08 °C/W pour le Rmax et la pente thermique pour la pompe atteignait une valeur aussi basse que 0.02 °C/W sur le Rmin (figure 2). Ces résultats préliminaires obtenus avec des niveaux de puissance faibles, 9 W et 30 W respectivement, seront présentés avec des niveaux plus élevés durant la conférence ainsi qu'une évaluation en package dissipatif.

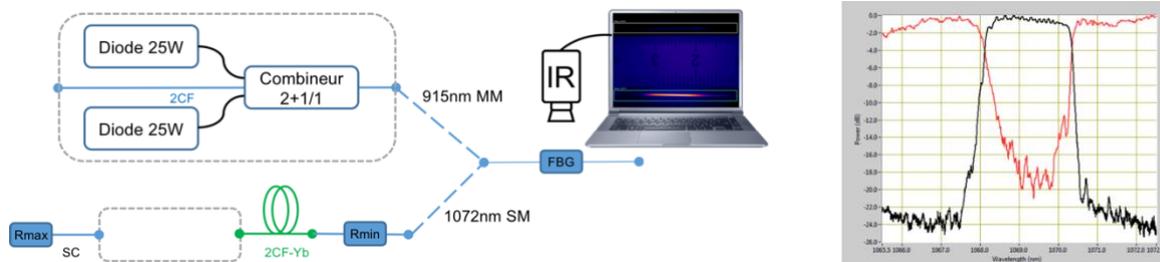


Fig. 2 : Principe de mesure des pentes thermiques et spectre du Rmax sur fibre 20/400 μm ON 0.065 pour laser kW.

CONCLUSION

Nous avons comparé l'échauffement au flux signal de réseaux de Bragg réalisés avec deux procédés de réalisation. Nous montrons que le procédé spécifique que nous avons mis en œuvre permet une importante réduction de la pente thermique au signal des réseaux et permet d'envisager leurs utilisations dans des lasers de puissance de sortie 30 W à 2 μm . Nous terminons par l'utilisation de ce procédé de réalisation sur fibre 20/400 μm afin de valider la compatibilité des miroirs FBG pour construire des cavités laser tout-fibre de haute efficacité, à faisceau de haute qualité de 1 kW ou plus.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Wallace, "High-power fiber lasers : KiloWatt-level fiber lasers mature", Laser Focus World : Technical Digest, Mars 2016
- [2] A. Ladaci, S. Girard, L. Mescia, T. Robin, A. Laurent, B. Cadier, M. Boutillier, Y. Ouerdane, A. Boukenter, "Optimization of rare-earth-doped amplifiers for space mission through a hardening-by-system strategy", Photonics West, pp. 100960F, Proceeding Volume 100960, San Francisco, Janvier 2017
- [3] L. Lablonde, O. Rabine, K. Ylä-Jarkko, A. Salokatve, T. Robin, B. Cadier, "Cavité à réseaux de Bragg pour les lasers à fibre monomodes de haute puissance", JNOG, Juillet 2011

PHOTOACOUSTIC IMAGING USING MULTIMODE FIBERS

Antonio Miguel Caravaca-Aguirre¹, Emmanuel Bossy¹

¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, LIPhy, F-38000 Grenoble, France

antonio.caravaca@univ-grenoble-alpes.fr

RÉSUMÉ

We present a thin endoscopic system for optical resolution photoacoustic microscopy. The system is based on an optical multimode fiber for light delivery attached to a fiber-optic hydrophone for photoacoustic detection. A full-field illumination approach using speckle patterns combined with reconstruction algorithm allows to image sparse samples.

MOTS-CLEFS : *photoacoustic microscopy, endoscopy, speckle*

1. INTRODUCTION

Photoacoustic imaging is a modality that couples light excitation to acoustic detection via the photoacoustic effect (sound generation via light absorption). It relies on detecting ultrasound waves that are very weakly scattered in biological tissue. Optical-resolution images can currently be obtained only for small penetration depth, before multiple-scattering becomes significant (< 1 mm), making endoscopic approaches attractive for imaging deep inside biological structures. Conventional imaging approaches generally involves mechanically raster scanning a focused spot over the sample and acquiring an acoustic signal for each spot. Here, we demonstrate that a full-field illumination approach with multiple known speckle patterns generated at the distal tip of a multimode fiber can also provide diffraction-limited optical-resolution photoacoustic images. As a proof of principle we experimentally image micro-structured test samples. A digital micromirror device modulating the incident light coupled into a multimode fiber provides the different speckle patterns at the distal tip of the fiber where the sample is placed. Furthermore, we compare the performance of three different approaches : correlation based method, pseudo-inverse calculation and compressed sensing model.

2. METHODS

A Q-switched diode pumped laser illuminates a digital micromirror device (DMD) which modulates the wavefront of the incident light. A 4F lens system couples the modulated light into the MMF and the speckle pattern produced at the distal tip of the fiber is imaged with a CMOS camera. To record the photoacoustic signal we use a fiber-based optical hydrophone [1] attached next to the MMF. Conventional approaches generally involves raster scanning a focused spot over the sample. Each pattern displayed on the DMD produce a different illumination input and therefore a different speckle pattern at the distal tip of the fiber. The intensity fluctuations from each pattern codes for the position at which is measured. We implement three different computational methods to reconstruct the photoacoustic image. The first methods is based on a correlation approach similar to the methods used in ghost imaging [2]. The second method use the pseudo-inverse of the calibrated speckles [3]. Furthermore, taking advantage of the sparsity of the sample, we implement a third method based on compressed sensing [4].

3. RESULTS

Fig. 1 shows the experimental photoacoustic image reconstruction of a micro-structured test sample. The image taken with a CMOS camera of the sample with the shape of a PC on sign upside-down placed at the tip of the MMF is shown in Fig. 1 a. The photoacoustic image reconstructed using the correlation method based on the ghost imaging approach is shown in Fig. 1 b. The object can be guessed but the signal to noise in this case is really low. Fig. 1 c shows the second method based on the pseudo/inverse of the matrix obtained from the calibration step. The image is a faithful reconstruction of the object. Using

a third method exploiting the sparsity of the object we obtain a better signal to noise ratio as shown in Fig. 1 d.

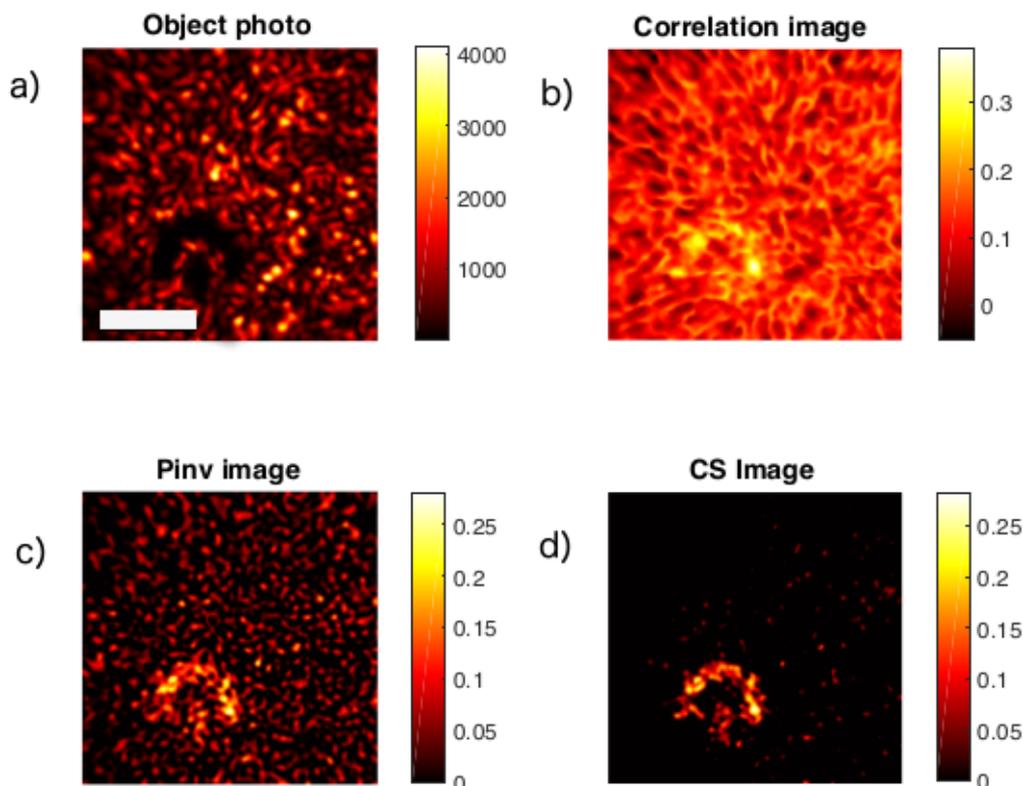


FIGURE 1 : Experimental results of a micro-structured test samples imaged with the endoscope. (a) CMOS camera image of the distal tip of the fiber with the sample in place. Photoacoustic image reconstructed using (b) Ghost-imaging approach, (c) Pseudo-inverse approach and (d) compressed sensing. Scale bar is 30 um

CONCLUSION

We demonstrate optical-resolution photoacoustic imaging using an endoscope based on a MMF and a fiber hydrophone. The illumination control is performed using a DMD allowing calibration and measurement times of a few seconds. We use a speckle-based illumination combined with novel computational methods for image reconstruction, to improve the imaging speed compared to raster scanning methods.

RÉFÉRENCES

- [1] P. Morris, A. Hurrell, A. Shaw, E. Zhang, and P. Beard, "A Fabry-Perot fiber-optic ultrasonic hydrophone for the simultaneous measurement of temperature and acoustic pressure," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 125, no. 6, pp. 3611–3622, Jun. 2009.
- [2] O. Katz, Y. Bromberg, and Y. Silberberg, "Compressive ghost imaging," *Applied Physics Letters*, vol. 95, no. 13, p. 131110, Sep. 2009. [Online]. Available : <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3238296>
- [3] R. N. Mahalati, R. Y. Gu, and J. M. Kahn, "Resolution limits for imaging through multi-mode fiber," *Optics Express*, vol. 21, no. 2, pp. 1656–1668, Jan. 2013. [Online]. Available : <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-21-2-1656>

- [4] F. Poisson, N. Stasio, C. Moser, D. Psaltis, and E. Bossy, "Multiple speckle illumination for optical-resolution photoacoustic imaging," A. A. Oraevsky and L. V. Wang, Eds., Mar. 2017, p. 100641O. [Online]. Available : <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.2251909>

QUASI-ACCORD DE PHASE DANS LES GUIDES D'ONDE SUSPENDUS

Natália Morais¹, Iännis Roland¹, Marco Ravaro¹, Aristide Lemaître², Ivan Favero¹ et Giuseppe Leo¹

¹ Matériaux et Phénomènes Quantiques, Université Paris Diderot, CNRS, Sorbonne Paris Cité, 10 rue Alice Domon et Léonie Duquet, 75013 Paris, France

² Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay 91460 Marcoussis, France

natalia.morais@univ-paris-diderot.fr

RÉSUMÉ

Quasi-accord de phase (QPM) a été obtenu dans les guides AlGaAs homogènes suspendus en forme de serpent. Une double génération de la deuxième harmonique (SHG) a été observée.

MOTS-CLEFS : dispositifs optiques intégrés, matériaux optiques non linéaires, semi-conducteurs, dispositifs optiques non linéaires

1. INTRODUCTION

Malgré les techniques complexes d'accord de phase nécessaires pour les semi-conducteurs II-IV [1], la symétrie cristalline des cristaux zinc-blende tel que le GaAs et ses composants (symétrie $\bar{4}3m$), il est possible d'obtenir QPM « effectif » en faisant une modulation azimutale du coefficient non linéaire effectif, en changeant la direction de propagation de la lumière. Le QPM « effectif » évite le besoin d'un cristal aux domaines inversés. Ce principe a été démontré récemment dans les résonateurs mode en chuchotement en galerie (WGM), dans les microdisques de GaAs [2] et AlGaAs [3].

2. QPM DIRECTIONNEL DANS DES GUIDES SERPENT EN ALGAAS

Dans les guides d'ondes en AlGaAs, il est possible d'obtenir le QPM directionnellement induit, avec un guide composé de demi-cercles en cascade tel que celui de la Fig. 1a). La lumière dans le guide suit le même chemin que celui d'un disque WGM. La valeur du coefficient non linéaire effectif est $d_{\text{eff}} = \frac{1}{2} d_{14} \sin(2\varphi)$ [4], où φ est l'angle entre la direction de la propagation de la lumière et l'axe cristallin $\langle 100 \rangle$, pour un cristal AlGaAs obtenu par croissance sur GaAs {001} (Fig. 1b)). La période est égale à πR . Nous pouvons choisir le rayon R , pour lequel la condition d'accord de phase $\Delta = 2L_c = \pi R$, avec L_c la longueur de cohérence et R , le rayon de courbure.

En choisissant l'épaisseur $h = 123$ nm, nous pouvons obtenir le décalage de l'accord de phase $\Delta k = 2k_\omega - k_{2\omega}$, entre les modes TE₀₀ a la fréquence fondamentale (ω) et TM₀₀ a la deuxième harmonique (2ω). Dans la Fig. 1c), est représentée un graphe de Δk en fonction de de la largeur du guide, w , et de la longueur d'onde de la pompe λ_ω . La ligne $\Delta k = 0$ correspond à la condition d'accord de phase pour un guide droit. Quand une géométrie courbée est introduite, cela donne origine à un dédoublement du pic du signal de la deuxième harmonique, dont la séparation spectrale dépend inversement du rayon de courbure R .

Les mesures non linéaires ont été effectuées dans un guide d'onde de largeur $w = 0.82$ μm et rayon $R = 50$ μm , composé de 16 quarts de cercle, ce qui correspond à quatre oscillations spatiales et une longueur de $L_{\text{snake}} = 1.46$ mm. La même mesure a été effectuée dans un guide droit avec la même section transversale de longueur $L_{\text{straight}} = 1$ mm. La SHG a été observée dans les deux cas avec une efficacité maximale de conversion de $\eta_{\text{snake}} = 1.2$ % W^{-1} dans le cas du guide serpent et $\eta_{\text{straight}} =$

2.7 %W⁻¹ dans le guide droit. Dans Fig. 2a) sont représentés les spectres de conversion du guide serpent (bleu) et du guide droit (noir). On vérifie le doublement du pic SHG du guide serpent vers les longueurs d'onde 1591 et 1596 nm, autour du seul pic du guide droit à 1594 nm.

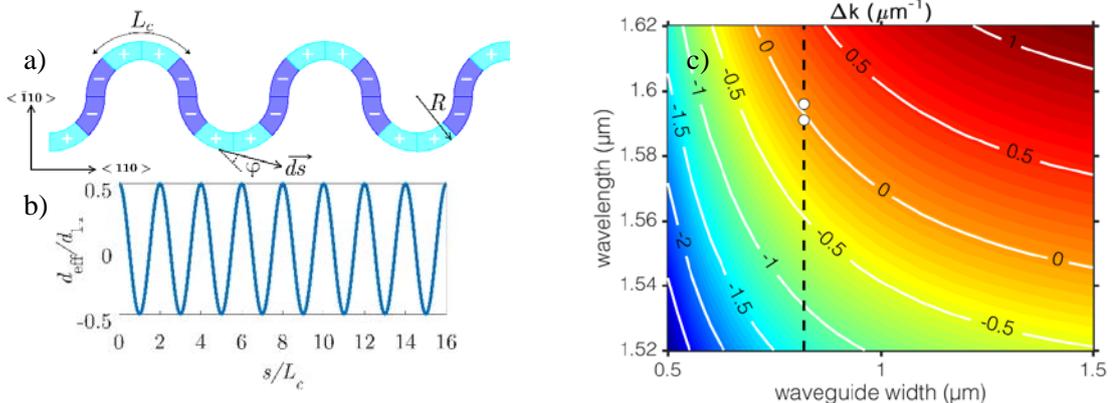


Fig. 1 a) Représentation schématique d'un guide d'onde serpent, b) changement du coefficient non linéaire d_{eff} avec la distance de propagation, s , c) carte du décalage de l'accord de phase pour un guide d'épaisseur $h = 123$ nm

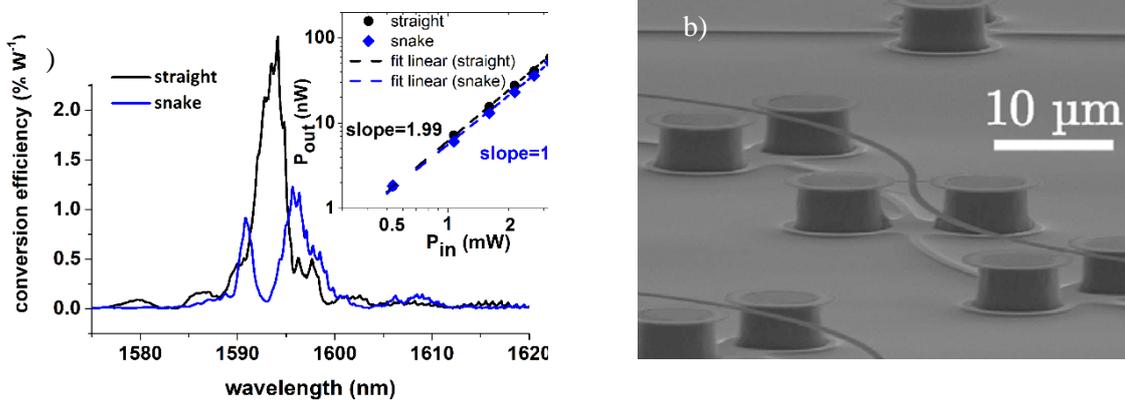


Fig. 2 a) Efficacité de conversion SHG dans les guides d'onde serpent (bleu) et droit (noir). b) Photographie MEB d'un guide serpent.

CONCLUSION

Nous avons démontré le QPM « effectif » dans un guide d'onde AlGaAs homogène. Une double SHG a été observée à cause de la proximité spectrale des deux conditions d'accord de phase $\Delta k = \pm\pi/L_c$, autour de la longueur d'onde d'accord de phase pour un guide droit de la même dimension.

REFERENCES

- [1] A. S. Helmy, et al. "Recent advances in phase matching of second-order nonlinearities in monolithic semiconductor waveguides." *Laser & Photonics Reviews* **5**(2) 272 (2011)
- [2] P. S. Kuo, G. S. and Solomon. "On-and off-resonance second-harmonic generation in GaAs microdisks". *Optics express*, **19**(18), 16898 (2011)
- [3] S. Mariani, et al. "Second-harmonic generation in AlGaAs microdisks in the telecom range." *Optics letters* **39**(10), 3062 (2014)
- [4] R. T. Horn and G. Weihs, "Directional quasi-phase matching in curved waveguides," arXiv:1008.2190 (2010)
- [5] S. Gehrsitz, et al. "The refractive index of Al_xGa_{1-x}As below the band gap: accurate determination and empirical modeling." *Journal of Applied Physics* **87**(11) 7825 (2000)