

Fonctions et dispositifs pour les réseaux optiques très hauts débits

FDRO

Sous-projet 1 : Etude de fibres optiques micro-structurées et de leurs applications aux systèmes de télécommunications (resp. C. Lepers, ENIC)

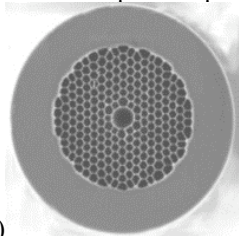
Equipes impliquées :

ENIC : Catherine Lepers (en sabbatique à TP-COMELEC), M. Bouazaoui

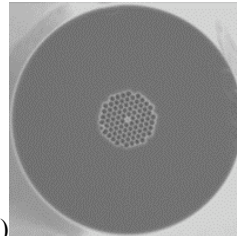
TP-COMELEC : Guy Debarge, Yves Jaouen, Didier Erasme, Renaud Gabet, Carlos Palavicini (thésard), Damien Bigourd stagiaire.

Avec le soutien très actif du laboratoire CNRS PhLAM

Contexte : Les fibres à cristal photonique sont différentes des fibres conventionnelles de télécommunications : elles comportent des canaux d'air microscopiques parallèles à l'axe de la fibre, agencés suivant un cristal photonique. Dans une fibre photonique, on identifie deux types de guidage différents soit par "réflexions de Bragg multiples" dans une fibre à bande interdite photonique (a) soit par réflexion interne totale dans une fibre microstructurée (b).



(a)
fig a fibre à bande interdite photonique



(b)
fig b fibre microstructurée

Modélisation par la méthode des ondes planes :

Afin de spécifier les paramètres des fibres en vue d'une application donnée, il est important de se doter d'un outil de modélisation numérique. La présence de trous de l'ordre de la longueur d'onde dans le cristal nous oblige à tenir compte de l'aspect vectoriel des champs électromagnétiques **E** et **H**. La "méthode des ondes planes" prend en compte cette contrainte et permet de limiter la complexité de la modélisation numérique.

Dans le cadre du projet, la modélisation d'une "fibre microstructurée" a permis de répondre aux questions suivantes : quelles sont les principales différences entre les fibres microstructurées et les fibres conventionnelles? Comment est modifiée la dispersion chromatique en fonction de la taille d des trous et de la dimension Λ de l'interstice entre les trous de la fibre ? Que devient l'aire effective de ces fibres par rapport aux fibres conventionnelles ?

Mesure des paramètres de dispersion chromatique et de biréfringence d'une fibre microstructurée :

L'ENST possède un interféromètre de Michelson éclairé en "lumière blanche" qui permet de faire des mesures en amplitudes mais également en phase de réflexions localisées de composants optiques passifs et actifs: cet appareil de mesure est un réflectomètre optique à faible cohérence sensible à la phase. Nous avons effectué des mesures de dispersion chromatique et de biréfringence très précises sur un tronçon de fibre microstructurée très court de l'ordre de 50 μ m. Des simulations numériques effectuées par le PhLAM ont donné lieu à un très bon accord simulations expériences.

Mélange à 4 ondes dans une fibre microstructurée

Dans les télécommunications, le mélange à 4 ondes est un effet non linéaire qui peut être utilisé pour créer de nouvelles fonctionnalités de traitement du signal optique. Cette orientation de nos études a conduit à la mise en œuvre d'un banc de caractérisation du mélange à 4 ondes présent dans ce type de fibre.

Fonctions et dispositifs pour les réseaux optiques très hauts débits

FDRO

Sous-projet 2 : Réalisation d'une démonstration expérimentale de CDMA optique à l'aide fibres à réseaux de Bragg photo-inscrits. (resp. C. Lepers, ENIC)

Equipes impliquées :

TP-COMELEC : Mounia Lourdiane (thésarde), Yves Jaouen, Didier Erasme, Renaud Gabet, Carlos Palavicini (thésard).

ENIC : Catherine Lepers (en sabbatique à TP-COMELEC).

Avec le soutien très actif du laboratoire CNRS PhLAM

Contexte :

Le CDMA à séquence directe est une technique d'accès multiple à répartition par le code largement utilisée dans le domaine radio-fréquence. Elle consiste à répartir les données binaires de durée T_b de N utilisateurs dans une même bande de fréquence. Le multiplex résultant est ensuite transmis via un support de transmission radio-fréquence. Auparavant, les données de chaque utilisateur ont été modulées par un code d'étalement composé de L « chips » de durée $T_c=T_b/N$. Le code d'étalement est propre à l'utilisateur et constitue une clé de codage ; lors de la réception, elle permet de décrypter les données qui lui appartiennent.

Cette technique CDMA permet de partager une même bande passante entre plusieurs utilisateurs authentifiés par leur code personnel. Elle assure une émission asynchrone des données multi-utilisateurs. L'étalement spectral qui résulte de la modulation des données par le code permet de réduire la densité spectrale du signal à émettre. Ceci constitue une protection contre les brouilleurs et peut assurer une certaine confidentialité des données en les noyant dans le bruit du canal. L'application de la technique CDMA à l'optique devrait permettre de réduire les coûts d'installation des réseaux d'accès et d'augmenter le débit utilisateur.

Réalisations :

Une étude générale sur les codes optiques en vue d'un codage unipolaire des données adapté à une détection optique non cohérente, a montré que les codes « séquences premières » devaient être retenus. Ces séquences sont telles que la longueur L du code est le carré du nombre N d'utilisateurs et que le poids ω du code représente le nombre de chips du code à 1. Le multiplex réalisé est transmis via une fibre de 5 km, décodé et détecté. Les trains binaires des utilisateurs sont alors reconstitués.

Dans le cadre du projet, nous avons décidé de réaliser une expérience de faisabilité d'un système CDMA tout optique mettant en œuvre deux utilisateurs #1 et #2. Leurs trains de données binaires (débit binaire=2 Gb/s) sont modulées par deux codes optiques quasi-orthogonaux (débit chip=20 Gchip/s). L'originalité de notre expérience réside dans la conception et la mise en œuvre de codeurs/décodeurs optiques. Ils sont réalisés avec des réseaux de Bragg échantillonnés et conçus par le laboratoire PhLAM de Lille. Les codes optiques « séquences premières » de longueur $L=9$ permettent de répartir $N=3$ utilisateurs dans la bande passante de la fibre. Les réseaux échantillonnés sont composés de $\omega=3$ réseaux de Bragg qui vont réfléchir l'impulsion de largeur à mi-hauteur de durée $T_c=50$ ps contenue dans la donnée binaire de largeur $T_b=10*T_c=500$ ps (Fig.2). A la réception, les données modulées par le code sont décodées par les réseaux de Bragg identiques aux codeurs mais montés en inverse et détectées. Seul le destinataire possesseur du bon décodeur obtiendra une information significative. Plusieurs séries de fibres à réseaux de Bragg ont été réalisées. La dernière réalisation a montré des performances satisfaisantes pour l'application..

Fonctions et dispositifs pour les réseaux optiques très hauts débits

FDRO

Sous-projet 3 : Etude de structures semi-conductrices / diélectriques à bande interdite photonique (BIP) (resp. Qin Zou, INT)

Equipes impliquées :

INT-EP : Qin Zou, Badr-Eddine Benkelfat, avec le soutien actif du laboratoire LPN (CNRS): A. Ramdane.

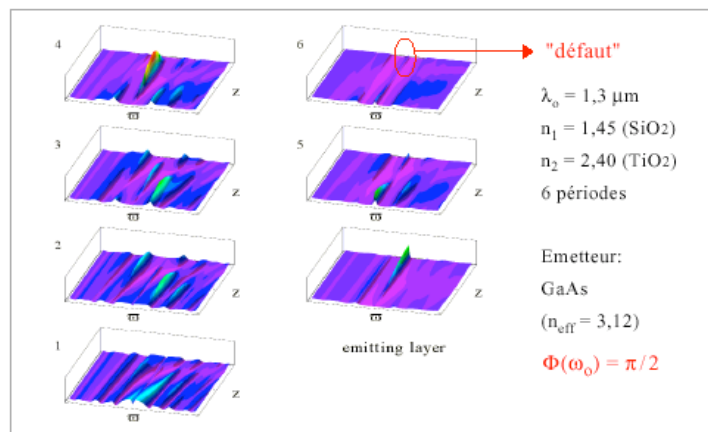
TP-TSI : Robert Frey

Contexte : Les structures à bande interdite photonique (BIP) ont connu ces dernières années un développement important, grâce à l'intérêt qu'elles présentent pour contrôler la lumière dans des nanostructures.

Le projet a pour but d'étudier une alternative (structure cascadée) pour tailler le spectre d'émission d'un émetteur optique implanté dans une structure à BIP unidimensionnelle et de nous fédérer avec les autres laboratoires d'optique du GET pour mener des recherches communes sur cette thématique. Nous visons également des collaborations durables avec nos partenaires extérieurs (LPN et Laboratoire d'Optique de Besançon).

Modélisation : Le calcul de la densité de modes (DOM) et du champ électromagnétique local d'une structure unidimensionnelle (passive ou active) ont été effectués. Le modèle développé fournit un argument quantitatif à la conception optimale (en fréquence d'émission et en localisation de la couche émettrice) d'une structure active (exemple : Fig. 1).

Fig. 1. Simulation du champ local dans une structure active semi conductrice/ diélectrique. Le déphasage $\pi/2$ volontairement créé permet un couplage maximal DOM/champ à λ_0 .



Réalisations de composants:

- Cellules de référence GaAs/AlAs à îlots quantiques (LPN): réalisées et testées (Fig. 2).
- Échantillons SiO₂/TiO₂ à structure cascadée (LOPMD): réalisés et testés (Fig. 3).

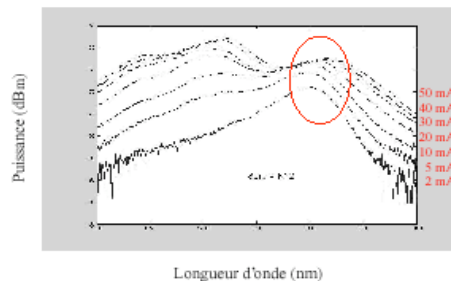


Fig. 2. Spectre d'émission spontanée d'une cellule à îlots quantiques.

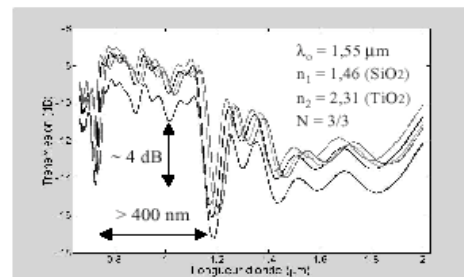


Fig. 3. Transmission large bande obtenue en cascadant deux structures de faible nombre de périodes.

Perspectives :

- inter-GET: ENST-TSI (structures diélectriques multi-résonantes).
- extra-GET : LPN (technologies III-V, réalisation de DELs, Lasers), LOPMD (structures non-conventionnelles).

Fonctions et dispositifs pour les réseaux optiques très hauts débits

FDRO

Sous-projet 4 : Inscription optique de réseaux dans des dispositifs de filtrage résonant à base de cristaux liquides (resp ; I. Zaquine TP-TSI)

Equipes impliquées :

TP-TSI : Isabelle Zaquine, Robert Frey, D. Bitauld (Thésard), A. Moreau et J-M Melkonian (stagiaires).

ENST-Br : Raymond Chevallier, Laurent Dupond.

Rappel des objectifs : L'association d'un réseau de Bragg intracavité avec un réseau plan traditionnel permet d'obtenir une excellente sélectivité en longueur d'onde, compatible avec les exigences du multiplexage dense pour les télécommunications. Pour cela, le réseau intracavité doit présenter une épaisseur suffisante pour obtenir une diffraction en régime de Bragg, une finesse du Fabry-Perot assez grande et la possibilité de reconfigurabilité pour accorder la longueur d'onde sélectionnée. Cette dernière propriété nous a conduit à étudier l'inscription optique.

Principe de l'inscription optique :

Les cristaux liquides sont biréfringents, et le changement d'indice est obtenu en faisant tourner les molécules sous l'action de l'onde électromagnétique. Le premier échantillon est d'épaisseur 30 μm . Le cristal liquide, de type TL205 (Merck), est compris entre les deux miroirs du Fabry-Pérot de finesse théorique 25. L'alignement des molécules est homogène, c'est-à-dire parallèle aux parois.

Pour induire le changement d'indice, nous utilisons un laser YAG doublé (longueur d'onde 532 nm), délivrant des impulsions d'environ 30 ps. L'énergie incidente a été limitée à 0.5 mJ/mm² car une dégradation locale de l'échantillon était visible au delà de cette valeur. Un second faisceau est utilisé pour contrôler la variation d'indice. Il est issu d'un laser Titane saphir accordable en longueur d'onde. On obtient une grande sensibilité qui nous permet de détecter un changement d'indice de l'ordre de 10⁻⁴ et malgré cela, aucune variation d'indice n'a été détectée.

Une concertation avec Brest nous a mené à essayer un autre type d'alignement des molécules : l'alignement perpendiculaire aux parois, dit « homéotrope ».

Nouvelle configuration :

Pour réaliser un ancrage homéotrope, les substrats sont recouverts d'un surfactant (du silane dans notre cas) qui présente une « anti-affinité » avec le cristal liquide, ainsi la molécule tend à minimiser sa surface en contact avec le silane en se plaçant perpendiculairement à cette surface. Il s'agit pour nous d'un nouveau savoir faire, et la réalisation d'une cellule correcte (surfactant : silane, cristal liquide : BI36, épaisseur 12 μm) a nécessité de nombreux essais. En particulier, le cristal liquide ne reste pas confiné dans la cellule (du fait de l'anti-affinité entre le cristal liquide et le surfactant) et l'étanchéité du joint de colle doit donc être parfaite. Une limitation sur l'épaisseur des cellules est apparue : pour des cellules épaisses (>15 μm), il y a formation de micro-domaines où l'alignement n'est pas celui imposé par l'ancrage ; de telles cellules présentent un aspect optique diffusant.

L'échantillon de cristal liquide d'alignement homéotrope est d'épaisseur 12 μm mais n'est pas placé dans un résonateur de Fabry-Perot. Ceci réduit la sensibilité de mesure d'un facteur 20 et empêche de conclure sur les possibilités de changement.

Conclusion, perspectives

Le montage d'inscription optique en impulsions est opérationnel pour des échantillons résonnants. Des difficultés technologiques nouvelles sont apparues pour la mise en œuvre des cristaux liquides, en particulier l'impossibilité de réaliser des échantillons épais. L'inscription optique nécessite des cristaux liquides spécifiques. D'autres études seront effectuées pour réaliser le filtre.

Fonctions et dispositifs pour les réseaux optiques très hauts débits

FDRO

Sous-projet 5 : Dispositifs hybrides à cristaux liquides pour systèmes WDM reconfigurable (resp. B.-E. Benkelfat, INT)

Equipes impliquées :

ENST-Br : Raymond Chevallier, Bruno Vinouze.

TP-COMELEC : Yves Jaouen, Carlos Palavicini (Thésard).

INT : Badr-Eddine Benkelfat

Contexte : Cette étude porte sur la faisabilité d'un dispositif hybride à cristaux liquides reconfigurable en longueur d'onde et dédié à la réalisation de fonctionnalités propres aux systèmes WDM (Wavelength Division Multiplexing). La fonction de filtrage est réalisée au moyen d'une conversion TE/TM en utilisant un dispositif de type Solc discriminant en fréquence optique.

Résultats et Discussions:

Les résultats préliminaires obtenus sur une structure hybride reconfigurable à deux étages et sur une structure "passive" à six étages, ont permis de valider l'architecture du composant. La première a permis de mettre en évidence l'accordabilité de la fonction de filtrage par la biais des cristaux liquides, alors que la deuxième a confirmé la relation de proportionnalité entre la finesse et le nombre d'étages du dispositif.

L'accordabilité en longueur d'onde d'une structure à dix étages a été effectuée au moyen des nouvelles cellules à cristal liquide réalisées par l'ENST Bretagne et dont la différence de marche induite varie de $1,575 \mu\text{m}$ à $0,25 \mu\text{m}$ (Fig. 1). La figure 2 illustre l'accordabilité en longueur d'onde du filtre. La bande d'accord est bien évidemment liée à la plage de variation de la différence de marche introduite par la partie "dynamique" du dispositif. Lorsque la tension augmente, le pic d'ordre $(2k + 1)$ se déplace vers les petites longueur d'onde sans variation (quasiment) de l'ISL dont la valeur reste voisine de 34 nm .

Figure 1

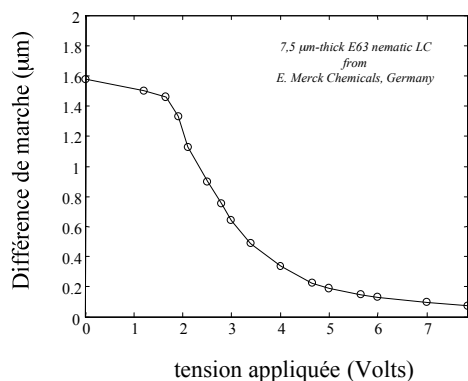
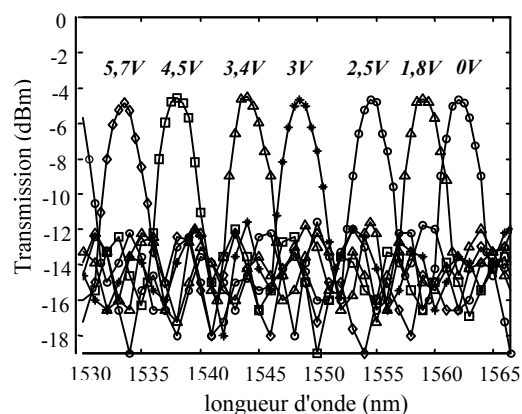


Figure 2



La bande d'accordabilité mesurée est de l'ordre de 29 nm , ce qui correspond à un taux d'accord de $0,21 \text{ V/nm}$. Le taux de réjection, de l'ordre de 10 dB , et la bande passante du filtre mesurée, sont affectées par les défauts opto-géométriques de la structure et notamment par le cumul des écarts sur les épaisseurs des étages. Cependant, les tensions de commande restent relativement faibles, ce qui rend un tel dispositif attractif dans la perspective d'effectuer une correction des épaisseurs optiques par la superposition d'une tension continue à la tension d'accord.

Fonctions et dispositifs pour les réseaux optiques très hauts débits

FDRO

Sous-projet 6 : Montage à l'ENIC d'un dispositif expérimental de mesure de dispersion chromatique sur un modèle existant à TP-COMELEC. (Resp. M. Bouazaoui)

Equipes impliquées :

ENIC : Mohamed Bouazaoui, Catherine Lepers. + stagiaire DESS

TP-COMELEC : Didier Erasme.

Contexte : Grâce au projet de recherche FDRO, Le groupe de l'ENIC a mis en place une expérience de mesure de dispersion chromatique de fibres optiques micro-structurées dont le principe est maîtrisé à TP-COMELEC. Ainsi, les mesures de dispersion chromatique ont pu être étendues à de nouveaux domaines de longueur d'onde, en l'occurrence la deuxième fenêtre des télécommunications vers 1,3 μm .

Ce transfert de savoir-faire a permis d'obtenir des résultats complémentaires de ceux obtenus à Télécom Paris-COMELEC autour de 1,5 μm . Ces résultats sont disponibles sur le site internet du projet FDRO. Cette étude se poursuit actuellement afin d'une d'améliorer la sensibilité de l'expérience pour mesurer la dispersion chromatique moyenne sur de grandes longueurs de fibres optiques et d'autre part d'étendre davantage le domaine de longueur d'onde.

Rapport de stage sur le site Internet du projet FDRO