

Réseaux de Bragg et Fibres optiques à cristaux photoniques

1 Introduction

Nous avons vu jusqu'à présent des fibres optiques constituées d'un coeur d'indice uniforme ou variant radialement. Or il existe des fibres dont le coeur est microstructuré, à l'échelle de la longueur d'onde. Nous allons en voir deux exemples : les réseaux de Bragg et les cristaux photoniques. Chacune à plusieurs applications.

2 Réseaux de Bragg

2.1 Intérêt

Un réseau de Bragg est une structure périodique inscrite le long de l'axe de la fibre et qui réfléchit une longueur d'onde précise en fonction des caractéristiques du réseau. En particulier, cette longueur d'onde change si le pas du réseau change. Un tel changement peut intervenir par exemple si la fibre se dilate sous l'effet d'une augmentation de température, ou bien si la fibre est étirée par une contrainte mécanique. Les réseaux de Bragg peuvent donc être utilisés comme capteurs de température ou comme capteurs de contrainte (c'est le cas à l'aéroport de Roissy depuis la reconstruction du Terminal E qui s'était effondré : ils sont placés au coeur de la structure en béton).

2.2 Principe

Un réseau de Bragg est constitué par la variation périodique de l'indice du coeur le long de l'axe. On utilise pour le coeur de la silice dopée au germanium, et on l'éclaire avec des franges lumineuses périodiques réalisées avec un laser UV à 244 nm. Cette insolation périodique crée une variation périodique d'indice qui persiste dans le temps.

Pour créer les franges, on peut soit réaliser un montage d'interférences à deux ondes (comme pour le Moiré ou la vélocimétrie), soit faire passer le faisceau laser à travers un masque de silice dans lequel des fentes ont été tracées.

Pour le principe de la réflexion de la lumière par le réseau de Bragg : voir les exercices sur les fibres optiques. Il suffit ici de savoir que le changement d'indice induit une réflexion, et que des interférences constructives entre les ondes réfléchies ont lieu lorsque $\lambda_B = 2n\Lambda$ où λ_B est la longueur d'onde de Bragg réfléchie, n l'indice vu par la lumière se propageant dans le coeur et Λ le pas du réseau.

2.3 Performance

La sensibilité du capteur à réseau de Bragg dépend de sa résolution en longueur d'onde. Typiquement, un réseau de 10 mm de long possède une largeur spectrale de l'ordre de 0,1 nm. Pour un capteur de température, la variation typique de longueur d'onde est de $0,01 \text{ nm}\cdot\text{K}^{-1}$.

3 Cristaux photoniques

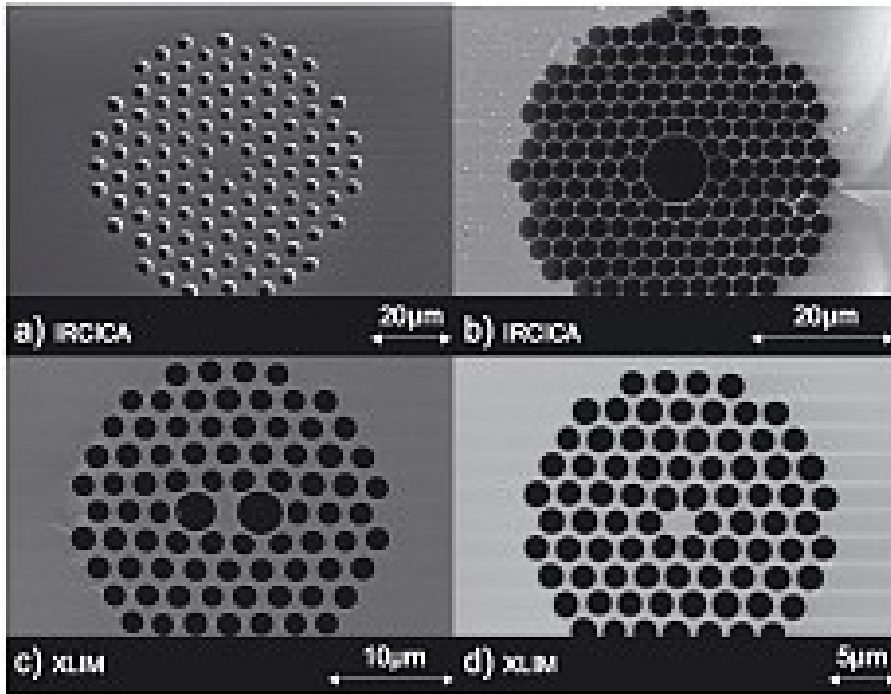


Figure 1: (a) fibre infiniment monomode. (b) fibre "hollow-core". (c) Fibre fortement biréfringente. (d) Fibre à propriétés non-linéaires utilisée pour le supercontinuum. La silice apparaît en gris, et l'air en noir. Source : "Images de la physique", CNRS.

3.1 Intérêt

Les cristaux photoniques permettent de résoudre certains problèmes lors de la transmission de lumière par fibre optique. Par exemple, rendre une fibre plus facilement monomode, ou bien transmettre des puissances plus élevées sans endommager la silice constituant la fibre, ou encore de séparer les différentes longueurs d'onde (séparées de seulement 0,3 nm) utilisées en multiplexage pour le transport d'information.

3.2 Constitution

Un cristal photonique est une structure périodique (comme un cristal), structurée à l'échelle de la longueur d'onde de la lumière, et qui modifie les propriétés de propagation de la lumière. Cette structure périodique peut être réalisée à l'aide de tubes d'air parallèles à l'axe de la fibre (voir figure 1).

Comme pour les cristaux usuels vis-à-vis des électrons, un cristal photonique possède des bandes d'énergie qui correspondent aux énergies permises pour les photons s'y propageant. En ajustant les paramètres du cristal, on peut créer un gap, ou bande interdite, comme dans les semi-conducteurs. Les photons ayant une énergie dans la bande interdite ne peuvent pas se propager dans le cristal, et sont totalement réfléchis à sa surface, quelque soit l'angle d'incidence.

3.3 Quelques cas particuliers

3.3.1 Fibre infiniment monomode

Une telle fibre est constituée d'un coeur en silice entouré d'un cristal photonique. L'indice vu par la lumière se propageant dans le cristal photonique dépend fortement de la longueur d'onde et permet une différence d'indice coeur / gaine assez petite sur une grande plage de longueur d'onde pour que la fibre reste monomode. Voir figure 1 (a).

3.3.2 Fibre "hollow-core"

Pour une telle fibre, le coeur est constitué d'air et représente un défaut dans le cristal photonique. La lumière se propageant dans le coeur appartient à la bande interdite du cristal et est totalement réfléchi à l'interface coeur-gaine. Voir figure 1 (b).

3.3.3 Extraire une longueur d'onde d'un signal multiplexé

On considère un signal contenant un grand nombre de longueurs d'onde, chacune portant une information différente. Lorsqu'on veut lire les informations, il faut séparer les longueurs d'onde. Pour cela, on peut utiliser un cristal photonique dont la bande interdite est très étroite et correspond à une longueur d'onde donnée : cette longueur d'onde sera réfléchi et pourra être analysée, alors que toutes les autres seront transmises.