

INTRODUCTION GENERALE

Contrôler les ondes électromagnétiques dans des circuits photoniques comme l'on contrôle les courants électroniques dans les circuits intégrés, tel est l'objectif que l'on peut envisager en exploitant les différentes « facettes » des structures artificielles que sont les cristaux photoniques, depuis les concepts jusqu'aux applications. Les termes de cristal, de « gaps de photons » ou de bandes interdites photoniques évoquent d'ailleurs, à l'évidence, l'analogie avec les cristaux semi-conducteurs et les bandes interdites électroniques. Obtenus par structuration périodique des matériaux diélectriques ou métalliques dans une, deux ou trois directions de l'espace, les cristaux photoniques offrent ainsi la perspective de réaliser des dispositifs optiques ou électromagnétiques capables de stocker, filtrer et guider la lumière à l'échelle de la longueur d'onde. Au-delà de la course à la miniaturisation que nécessite le traitement d'un nombre croissant d'informations, cette perspective peut également déboucher sur des nouveaux composants optiques aux propriétés ultimes.

L'idée de bande interdite photonique se rapproche immédiatement de celle de bande interdite électronique. Nous nous rappelons tous que, dans un semi-conducteur, il existe une bande de conduction séparée d'une bande de valence par une bande interdite et que cette bande interdite est vide d'électrons. Autrement dit, aucune onde électronique (au sens d'onde de matière) ne peut se propager dans le milieu semi-conducteur dès lors que son énergie se situe au sein de cette bande interdite. En réalité, la répartition des électrons en bandes d'énergie, permises ou interdites, n'est pas spécifique des semi-conducteurs, mais elle est propre à tous les cristaux solides où les atomes sont organisés de manière périodique. Le fait que le cristal soit diélectrique, semi-conducteur ou métallique tient à ce que, à la température d'étude, les électrons remplissent toute la bande de valence ou une partie de la bande de conduction. Les différentes situations dépendent évidemment des atomes du cristal et des liaisons entre ces atomes. Cela étant, le fait que le cristal présente une bande interdite omnidirectionnelle ou non dépend de la structure cristalline. Il existe, par exemple, des structures semi-métalliques où la bande interdite disparaît pour certaines directions de l'espace, laissant ainsi la possibilité de conduction métallique dans ces directions. Les semi-conducteurs les plus connus tels que le silicium (Si), le germanium (Ge) ou l'arséniure de gallium (GaAs) présentent des bandes interdites bien marquées. La structure cristalline correspondante, qui est aussi celle du diamant et de la blende (ZnS), résulte de l'emboîtement de deux réseaux cubiques à faces centrées (cfc), l'un étant décalé de l'autre par un quart de la grande diagonale du cube.

Les atomes sont ainsi disposés aux sommets et aux centres des faces des différents cubes élémentaires. En admettant l'existence de l'analogie entre électrons et photons, il est alors naturel d'imiter la structure cristalline des semi-conducteurs tels que le silicium lorsque l'on cherche à obtenir des bandes interdites photoniques prononcées.

C'est effectivement de cette façon qu'ont procédé les chercheurs et c'est ainsi qu'est née la notion de cristal photonique. Un tel cristal est obtenu en structurant périodiquement un matériau à faible perte optique dans les différentes directions de l'espace. La période du cristal correspond généralement à une fraction de la longueur d'onde sur laquelle on désire centrer la bande interdite photonique. Le matériau à faible perte est typiquement un diélectrique ou un semi-conducteur intrinsèque dont l'absorption est négligeable à la fréquence des photons que l'on veut contrôler. Le principal processus d'absorption d'un semi-conducteur correspond, en effet, à l'excitation d'un électron de la bande de valence à la bande de conduction et l'énergie nécessaire à cette excitation n'est autre que celle de la bande interdite électronique.

L'existence de cristaux photonique et de la notion de bande interdite photonique a bouleversé le monde de la recherche scientifique et de l'engineering. En effet, de multiples travaux de recherche et de développement se sont focalisés sur un seul but ; comment exploiter cette nouvelle notion dans la vie quotidienne et plus particulièrement dans le domaine de mesure et de contrôle des phénomènes physiques et naturels. [1]

Beaucoup de travaux de recherche ont été menés dans ce cadre et ont effectivement abouti à la réalisation de capteurs et de détecteurs de grandeurs physiques et chimiques naturelles tel que : la température, la pression, les concentrations des différents types de gaz (gaz explosif, ou toxique), et même biologique (contrôle du glucose dans le sang humain par exemple) ; en exploitant les propriétés fantastiques de la lumière par l'intermédiaire de structures adéquates à cristaux photoniques.

La propriété essentielle qui a facilité la pénétration de cet univers de développement est que certains matériaux voient leurs indices de réfraction de lumière changer après leur interaction avec les grandeurs naturelles à mesurer. Ainsi le changement des indices de réfraction du milieu conduit directement à la mesure de la grandeur qui est en cause de son changement.

Le travail que nous avons réalisé dans ce mémoire entre dans ce cadre. En effet, le but essentiel de notre travail est l'étude et le design d'un capteur de pression de fonctionnement basé sur le changement de l'indice de réfraction d'une structure à cristaux photonique quand elle est soumise à l'effet d'une pression donnée. Pour aboutir à notre but nous avons divisé ce travail en 4 chapitres.

Le premier chapitre sera consacré en totalité à la notion de capteurs. En effet dans ce chapitre, nous allons donner suivant les grandeurs à mesurer un aperçu sur les différents types de capteurs existant. Puis notre étude sera focalisée sur les capteurs de pression en général et à cristaux photoniques en particulier.

Le deuxième chapitre sera consacré aux cristaux photoniques, leurs définitions, leurs différents types et leurs principes de fonctionnement.

Le troisième chapitre se consacrera à l'outil **RSoft** et ses modules ; l'outil informatique que nous avons utilisés durant tout notre travail de simulation et de design.

Dans le quatrième chapitre nous donnerons les résultats du design et de conception que nous avons réalisée.