

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE Technologie
DEPARTEMENT Electronique
N° :



FILIÈRE : Electronique
OPTION : Microélectronique

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:

DERDJ NADJET ET KHEIR HADJAR.

THÈME

Capteur de pression à cristaux
photonique à base du semiconducteur
InAs

Soutenu devant le jury composé de :

Prof. HOCINI Abdssalam.	Université M ^{ed} Boudiaf –M'sila	Président
Dr. ZOUACHE TAREK	Université M ^{ed} Boudiaf –M'sila	Rapporteur
Dr.KAHLOUCHE Ahmed.	Université M ^{ed} Boudiaf –M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

Remerciements

*Je remercie **ALLAH**, le miséricordieux, le tout puissant et le plus clément qui nous aide et nous donne le courage de tout faire.*

Je tiens à exprimer mes sentiments de reconnaissance à tous les personnes qui ont participé à ce travail, qui m'ont appris une infinité de choses et qui m'ont aidé, conseillé et soutenu à tout moment afin de réaliser ce travail dans les meilleurs conditions.

*En Premier lieu, j'adresse toute ma gratitude à mon encadreur Docteur **ZOUACHE TAREK**, je le remercie pour sa gentillesse, son soutien et pour le fait de m'avoir fait partager son expérience, je lui adresse toute ma reconnaissance pour sa patience, ses conseils, sa compétence, sa disponibilité et sa participation active lors de la rédaction de mémoire.*

*Mes remerciements sont également adressés à **Dr.** Qui a accepté d'examineur ce modeste travail et Monsieur **Dr.** pour qui a accepté de présider le jury de mon mémoire et pour l'aide.*

*Je tiens à remercier également tous les membres de nos familles, parents, mes amis et mes collègues de la promotion master **microélectronique**.*

Enfin, que tous ceux de près ou de loin, dont l'assistance ou les conseils m'ont permis de mener à bien ce travail.

Dédicace

A l'aide de dieu tout puissant, qui ma tracé le chemin de vie, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie aux personnes les plus chères au monde mes chers parents :

*A la lumière de mes yeux, le bonheur de ma vie ma chère
Mère qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.
A mon cher père qui m'a appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice ses conseils et ses encouragements. Je ne cesserais jamais de remercier mon dieu pour m'avoir donné un père comme toi. Puisse
Dieu te protéger inshallah.*

*A mes très chères frères ainsi mes sœurs
A toute ma famille, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à finaliser ce travail. Je vous dis merci.*

*Merci pour votre soutien et votre présence à mes côtés.
Sans oublier mes collègues de la promotion 2021/2022, Master 2
Microélectronique.*

Sommaire :

Introduction générale	12
------------------------------	-----------

Chapitre I : Les cristaux photoniques

1	Introduction	4
2	Généralités sur les cristaux photoniques	4
3.1	Bref historique sur les cristaux photoniques.	4
3.2	Définition	5
3.3	Les cristaux photoniques naturels	5
4	Propriétés de base des cristaux photoniques	7
4.1	Périodicité à une dimension	7
4.2	Périodicité à deux dimensions.	8
4.3	Périodicité à trois dimensions	8
5	Caractéristique de cristaux photonique	9
6	Les types de cristaux photoniques	10
6.1	Les cristaux photoniques unidimensionnels	10
6.2	Les cristaux photoniques bidimensionnels	10
6.3	Les cristaux photoniques tridimensionnels	12

7	Diagrammes de bandes	13
7.1	Cristal photonique 2D - Diagramme de bandes	15
7.2	Cristal photonique à trois dimensions- Diagrammes de bandes	16
8	Des défauts	17
8.1	Défauts ponctuels	18
8.2	Les défauts linéaires	19
8.3	Guides d'ondes	20
9	Application des cristaux photonique	23
10	Conclusion	23

Chapitre II : capteur à base de cristaux photonique

1	Introduction	28
2	Généralités sur les capteurs	29
2.1	Définition	29
2.2	Les grandeurs d'influence	29
3	Structure d'un capteur	30
3.1	Le corps d'épreuve	30
3.2	Transducteur (le capteur)	31
3.3	Le boîtier	31

4	caractéristiques des capteurs	31
4.1	. Etalonnage	31
4.2	Domaine de linéarité	32
4.3	Sensibilité (s)	32
4.4	Temps de réponse ou rapidité	33
4.5	Résolution (Précision)	33
4.6	Fidélité	33
4.7	Répétabilité	34
4.8	Sélectivité	34
5	Différents types de capteurs	34
5.1	Biocapteurs	34
5.2	Capteurs chimique	35
5.3	Capteurs physiques	36
5.4	Les capteurs de pressions	36
5.4.a	Description d'un capteur de pression	36
5.4.b	Evolution des principes de détection	36
5.4.c	Les capteurs de pression existant sur le marché	37
5.5	.Les capteurs de pression différentiels	39

5.5.a	Capteur de pression résistif	39
5.5.b	Capteur de pression capacitif	39
5.6	Capteur de pression à base de cristaux photoniques- Principe de la détection	40
6	Exemples de capteurs réalisés	41
6.1	Les capteurs de pression à base de cristaux photoniques	41
6.2	Première application	41
6.2.a	Structure du capteur	41
6.2.b	Résultats	42
6. 3	Deuxième application	43
6. 3.a	Structure du capteur	43
6. 3.b	Résultat	44
6. 4	Troisième application	45
6.4.a	Structure du capteur	45
6.4.b	Résultat	46
7	Conclusion	47

Chapitre III : Résultats et discussions

1	Introduction	50
----------	--------------	-----------

2	Structure de base du capteur	50
2.1	Structure proposé	50
3	Relation indice de réfraction pression pour l'InAs	51
4	Etude de la réponse de la structure proposée en fonction de la pression	52
4.1	Tracé de la longueur d'onde de résonance correspondante à chaque pression	54
4.2	Calcul des sensibilités du capteur	54
❖	La sensibilité à la variation de l'indice de réfraction	55
❖	La sensibilité à la variation de pression hydrostatique	55
4.3	Calcul du facteur de qualité	58
5	Conclusion	59
	Conclusion générale	60

Liste de la figure .

Chapitre I : les cristaux photoniques

Figure I.1 : Représentation schématique de cristaux photoniques unidimensionnels (1D), Bidimensionnel (2D) et tridimensionnel (3D).....	5
Figure I.2 : une vue microscopique d'une structure de cristal photonique naturel. (a) opale, (b) papillons, (c) plume.....	7
Figure I.3 : BIP unidimensionnel, empilement de couches de permittivités différentes.....	7
Figure I-4 : Exemple de Bips 2D, réseaux de tiges dans l'air et de trous d'air dans un matériau.....	8
Figure I.5 : La première structure BIP 3D lyablonovite.....	9
Figure I.6 : Schéma d'un cristal photonique unidimensionnel constitué d'un empilement de couches diélectriques de période.....	10
Figure I.7 : (a) Cristal photonique 2D. (b) Matrice de trous d'air réalisée sur un substrat de Niobate de Lithium avec une période $a = 825 \text{ nm}$ et un rayon $r = 206 \text{ nm}$	11
Figure I.8 : Structures 2D . a) Structure carrée, (b) Triangulaire et (c) Hexagonale. Les propriétés optiques des structures bidimensionnelles sont fortement dépendantes de lapolarisation de l'onde électromagnétique.....	11
Figure I.9 : Un exemple d'une structure de pile de bois 3D(a) Schéma d'une pile de bois idéale CP. (b) Image SEM d'un vrai tas de bois 3D.....	12
Figure I.10 : Réseau direct Sur cette figure apparaissent neuf mailles élémentaires, l'ensemble de ces mailles constitue un réseau direct. Nous pouvons obtenir une maille élémentaire de même surface de la manière suivante. •on trace les lignes qui relient un nœud donné à tous ses voisins • on trace les médiatrices de ces segments.....	13
Figure I.11 : Premières zones de Brillouin (ZB) d'un réseau carré. Les plans de Bragg sont tracés en différentes couleurs. La ZB n°3 est atteinte en traversant 2 plans de Bragg (droite noire puis droite rouge).....	14

Figure I.12 : . Représentation a) d'un réseau hexagonal b) de son réseau réciproque c) et de sa zone De Brillouin.....	14
Figure I.13 : Représentation des polarisations TE et TM dans un BIP 2D.....	15
Figure I.14 : Diagramme de bande d'un BIP 2D en polarisation TM et TE.....	16
Figure I.15 : Différentes structures 3D . la structure cubique. tas de bois . Structure multicouches. les opales.....	16
Figure I.16 : Exemple d'un diagramme de bande d'un réseau diamant de sphères d'air dans un diélectrique à haute permittivité ($\epsilon = 13$).....	17
Figure I.17 : Défauts ponctuels . a) Modification de la permittivité d'une tige (il vaut mieux faire la tige centrale en rouge) b) Absence de la tige centrale.....	18
Figure I.18 : Diagramme de dispersion d'une structure 2D avec défaut.....	19.
Figure I.19 : Résonance à 35.5 GHz de la cavité engendrée par la suppression d'une tige pour le réseau carré diélectrique de tiges d'alumine pas=3mm, d=1.5mm (onde polarisée TM en incidence normale). L'énergie est concentrée sur les quatre premières tiges voisines de défauts.....	19
Figure I- 20: Exemple de guide W1 à cristal photonique triangulaire de trous d'air sur un substrat de silicium sur isolant.....	20
Figure I.21 : Guide d'onde de la structure GaAs dans l'air à motif carré montrant la distribution du champ E_y autour du défaut en polarisation. a) Rectiligne b) Courbures à 90° (simulée par le logiciel Rsoft).....	20
Figure I.22 : a) Guide d'onde b) Guide d'onde à courbures extrêmes.....	21
Figure I.23 : a) Guide réfractif. modèles de rayons en zig-zig avec réflexions totales et ondes évanescentes b) guidage par bande interdite photonique.....	21

Chapitre II .Capteur à base e cristaux photonique.

Figure II.1 : Définition d'un capteur.....	..29
Figure II.2 : structure d'un capteur.....	..31
Figure II.3 : Etalonnage d'un capteur.....	..32
Figure II.4. :Réponse non linéaire d'un capteur à semi-conducteur.....	..33
Figure I1.5 : Schéma synoptique d'un capteur de pression.....	..36
Figure II.6 : capteur résistif.....	..39
Figure II.7 : Capteur capacitif.....	..40
Figure II.8 :Structure du premier capteur de pression.....	..42
Figure II.9 : Déplacement des spectres de sortie (pour 1nm à 10nm) en fonction de la pression appliquée.....	..42
Figure II.10 : Variation de la fréquence des impulsions de sortie de sortie en fonction de la pression.....	..43
Figure II.11 :La structure finale du capteur de pression proposée.....	..44
Figure II.12 :Réponse de capteur pour différentes valeurs de pression.....	..45
Figure II.13 : Structure finale du capteur de pression adoptée	..46

Chapitre III : Résultats et discussions.

Figure III-1-a : la matrice de trous d'air dans le substrat du silicium proposée.....	..50
Figure III-1-b : Diagramme de dispersion des bandes interdites du mode TM.....	..51
Figure III-2 : La structure finale du capteur.....	..51
Figure III-3 : Indice de réfraction de L'InAs en fonction de la pression.....	..52
Figure III-4 : Réponse finales du capteur pour des pressions situées entre 0 GPa et 6GPa.....	..53

Figure III-5 : Longueurs d'onde de résonances correspondantes aux pressions situées entre 0GPa et 6GPa.....	54
Figure III-6-a : La sensibilité S_{RI} du capteur final tracé pour les pressions Considérées.....	56
Figure III-6-b. La sensibilité S_P du capteur final tracé pour les pressions considérées.....	57
Figure III-7 : Facteur de qualité du spectre de sortie en fonction de la pression	58

Liste de Tableaux

Tableau III-1	Indice de réfraction de L'InAs en fonction de la pression	P52
Tableau III-2	Grandeurs caractérisant la réponse du capteur en fonction de la pression	P53
Tableau III-3	Sensibilité SRI et SP calculée pour ce capteur	P56
Tableau III-4	Facteur de qualité du spectre de sortie en fonction de la pression	P58

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale :

Depuis quelques années, les recherches se sont orientées vers le comportement des photons au lieu des électrons dans le but de contrôler la propagation de la lumière et donc d'offrir la possibilité d'empêcher ou de permettre, dans certaines plages de fréquences et dans une ou plusieurs directions. La recherche des scientifiques comme, Yablonovitch [1] et John [2] (1987) a abouti à la réalisation et caractérisation d'une nouvelle génération de matériaux : les cristaux photoniques.

Les cristaux photoniques (CPs) sont des matériaux nanostructures dans lesquels on a créé une alternance périodique des indices de réfraction [3]. Suivant le type de structuration, on distingue des CPs unidimensionnels (1D), bidimensionnels (2D) ou tridimensionnels (3D). La réalisation des cristaux photoniques unidimensionnels et bidimensionnels est relativement ancienne, celle des réseaux tridimensionnels est plus récente [4]. Cependant, les chercheurs ont porté leur attention principale sur les CPs-2D, du fait de leur fabrication la plus facile et leur coût moindre par rapport aux structures 3D. À l'image des électrons dans les semi-conducteurs, les photons y sont répartis en bandes de transmission séparées par des bandes d'énergies interdites. Cette analogie permet d'envisager l'utilisation des cristaux photoniques comme matériaux de base pour la réalisation de composants pour l'optique intégrée.

La plupart des recherches mettent à profit la bande interdite photonique mais les propriétés originales des bandes de transmission peuvent être aussi utilisées [2-4]. Connus depuis longtemps, les CPs sont toujours l'objet de nombreuses études et développements en vue d'applications pratiques importantes. Parmi ces applications on peut citer la construction de miroirs à très haute réflectivité, très utiles pour l'amélioration de l'émission de lumière par les lasers, la construction de guides d'ondes à faible perte permettant de canaliser la lumière dans les dispositifs optoélectroniques utilisés en télécommunications, le piégeage de la lumière dans les cellules solaires, et récemment, la conception miniaturisée des capteurs de grande sensibilité [3].

La réalisation de cavités par l'inclusion de défauts ponctuels dans un cristal photonique, ne sont apparues qu'en 1998 et les excellentes propriétés de réflexion de lumière dans ce cristal environnant, permettent d'avoir des facteurs de qualités élevés pour les modes résonnants créés par ces défauts dans sa BIP [2]. Ce sont ces modes résonnants qui représentent le point de départ de l'utilisation des PhCs dans les domaines ; de la détection, de la mesure et

de la capture des grandeurs physiques connues. En effet, de nos jours les capteurs les plus performants qu'on trouve sur le marché quelque soit leurs types utilisent au moins une cavité résonante implanté dans une structure à cristaux photoniques. Ces dernières sont à la base de réalisation de capteurs à usage domestique comme les capteurs biologiques, les capteurs mécaniques, les capteurs chimiques et/ou de gaz ou à usage spécial comme dans les domaines militaires ou spatiaux.

Parmi les grandeurs physiques les plus contrôlées et mesurées on trouve la pression. La mesure de pression peut dans certains cas être vitales si on parle par exemple d'environnement aquatique, ou spatial, pour cette raison sa mesure avec précision été toujours un souci pour la technologie. L'apparition des cristaux photoniques a résolu ce problème. En effet on trouve maintenant des capteurs de pression très précis et à temps de réponse très faible puisque qu'ils utilisent les propriétés fantastiques de la lumière (ce dernier élément ne dépendra maintenant que de l'électronique associée à la structure PhCs). La sensibilité du capteur elle aussi est très importante et constitue de nos jours un domaine de recherche parmi les plus compétitifs. Différentes publications ont été réalisées ayant tous comme but d'améliorer la sensibilité et la limite de détection des capteurs de pression à base de cristaux photonique, notre travail entre dans ce contexte.

Dans le présent travail nous allons faire le design et la simulation d'un capteur de pression à haute sensibilité. La structure que nous allons utiliser représente un design amélioré de la structure de proposée par [5]. La réalisation de notre travail sera étalée en quatre chapitres.

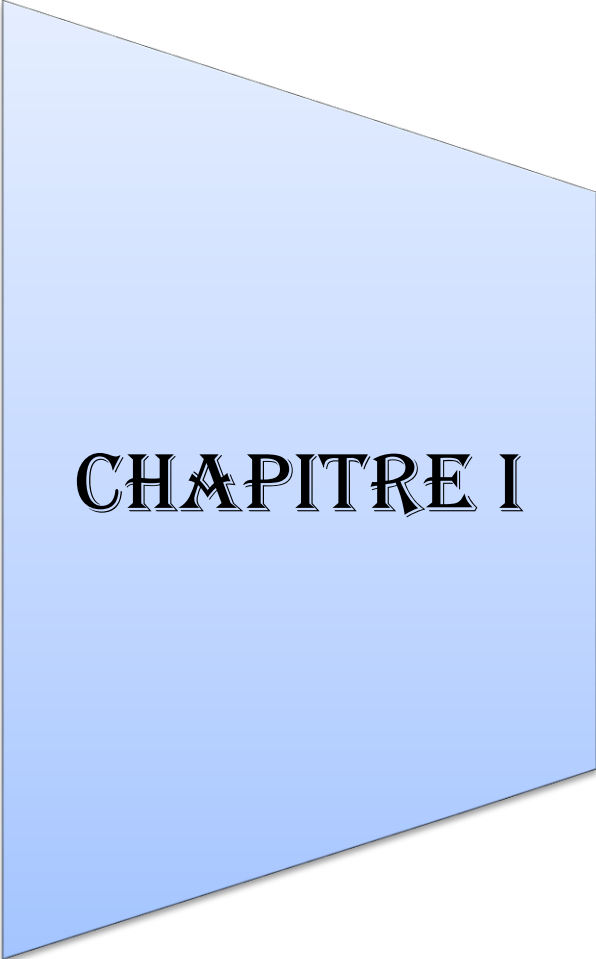
Dans le premier chapitre, nous passerons en revues les notions de cristaux photoniques et les définitions de bases relatives à ces structures. Dans ce contexte nous montrerons leurs caractéristiques très importantes et leurs capacités à fournir une bande interdite photonique (BIP) qui représente le support essentiel pour la réalisation de différents types de capteurs utilisant ce type de structure.

Le deuxième chapitre sera consacré à des généralités sur les capteurs. Dans ce contexte, nous avons donnés les caractéristiques générales communes aux différents. Puis nous avons donnés différents types de capteurs, leurs structures et leurs principes de fonctionnement. Puis nous allons abordés précisément les capteurs de pression et en particulier ceux à base de cristaux photoniques.

Le troisième chapitre sera en totalité consacré à l'étude de quelques applications importantes des systèmes à cristaux photoniques. Entre autre on donnera

dans ce chapitre des exemples de réalisation de capteurs biologiques, de capteurs chimiques et des capteurs de grandeurs mécaniques comme la pression.

Dans le quatrième chapitre nous allons proposer une structure à cristaux photoniques à base du semi-conducteur InAs, qu'on utilisera à la suite pour la conception d'un capteur de pression de haute sensibilité. La structure proposée a déjà servi de bon support pour un capteur de pression à base de germanium [5].



CHAPITRE I



**CRISTAUX
PHOTONIQUE**

I.1. Introduction :

Les matériaux artificiellement structurés " cristaux photoniques " ont suscité un grand intérêt dans plusieurs travaux de recherches, c'est une branche récente et prometteuse de l'optique. Les cristaux photoniques également connus sous le nom de structures à bandes interdites photoniques (BIP), ces structures offrent la possibilité de contrôler la propagation de la lumière. Les cristaux photoniques sont des structures dont le constant diélectrique varie de manière périodique à l'échelle de la longueur d'onde, sur une ou plusieurs directions de l'espace (1D, 2D et 3D).

Ce premier chapitre est une introduction générale sur les cristaux photoniques. Nous débutons par un historique retraçant l'origine des cristaux photoniques et la définition des cristaux photoniques. Nous continuerons par une présentation des différents types de cristaux photoniques et les caractéristiques de cristaux photoniques ainsi que les différents types de défauts existant.

I.2.Généralités sur les cristaux photoniques :

La notion de "cristaux photoniques" a été proposée pour la première fois en 1987[6,7]. Le premier cristal photonique a été réalisé en 1991 [8]. Les cristaux photoniques sont des structures dont l'indice de réfraction varie périodiquement dans une, deux ou trois dimensions. Ce milieu périodique produit sur la lumière qui se propage dans le cristal photonique un effet analogue à celui du potentiel périodique sur les électrons dans un cristal. De même qu'il existe pour des électrons des bandes d'énergie permises et des bandes interdites, il existe des bandes photoniques d'états permises et des bandes photoniques interdites. Une bande photonique correspond à un mode qui se propage dans le cristal photonique. Une bande interdite photonique correspond à un intervalle d'énergie où la propagation de la lumière est interdite dans certaines directions du cristal photonique. Les cristaux photoniques offrent la possibilité de contrôler la propagation de la lumière et ceci, sur la dimension de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde dans le matériau. C'est notamment cette propriété qui les rend intéressants pour de nombreuses applications.

I.3.1 Bref historique sur les cristaux photoniques :

La naissance des structures photoniques provient de l'optique. Pendant les dernières décennies que les cristaux photoniques ont attiré une grande attention, les premières hypothèses sur la possibilité de contrôler la propagation de la lumière utilisant des structures périodiques se rapportent à 1887 avec les travaux de Lord Rayleigh. En 1922, le physicien anglais Sir William Lawrence Bragg a développé le miroir de Bragg. Ce miroir est une

succession de surfaces planes transparentes d'indices de réfraction différents. Il permet de réfléchir, grâce aux phénomènes d'interférences constructives, 99.5% de l'énergie incidente ce qui est impossible avec un miroir classique. Ce n'est qu'en 1987 qu'Eli Yablonovitch[9] proposa d'étendre le concept des miroirs de Bragg aux fréquences microondes et ce pour des incidences quelconques.

En 1991, Eli Yablonovitch réalisa le premier cristal photonique artificiel fonctionnant aux longueurs d'onde centimétriques. Ce cristal artificiel, réalisé dans un bloc de plexiglas usiné dans trois directions différentes séparées de 120° de façon à reproduire la structure du diamant, est appelé Yablonovite[10].

I.3.2. Définition :

Les cristaux photoniques sont des structures périodiques dont le motif du réseau est composé de matériaux diélectriques ou de métallos diélectriques ou de la combinaison des deux et cela dans de multiples configurations : unidimensionnelle (1D), bidimensionnelle (2D) ainsi que tridimensionnelle (3D) (Figure I-1).

Les cristaux photoniques ouvrent la voie à la réalisation de nombreuses fonctions optiques grâce aux possibilités de confinement de la lumière qui pourraient révolutionner la fabrication des circuits intégrés optoélectroniques. La majorité des applications des cristaux photoniques repose sur leur bande interdite photonique. Il est nécessaire d'introduire des défauts dans la structure périodique afin de disposer d'une fréquence permise dans la bande interdite.

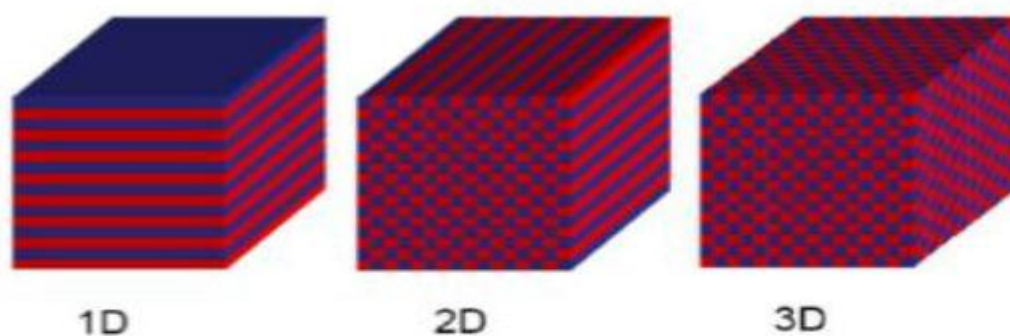


Figure I-1 : Représentation schématique de cristaux photoniques unidimensionnels (1D), Bidimensionnel (2D) et tridimensionnel (3D).

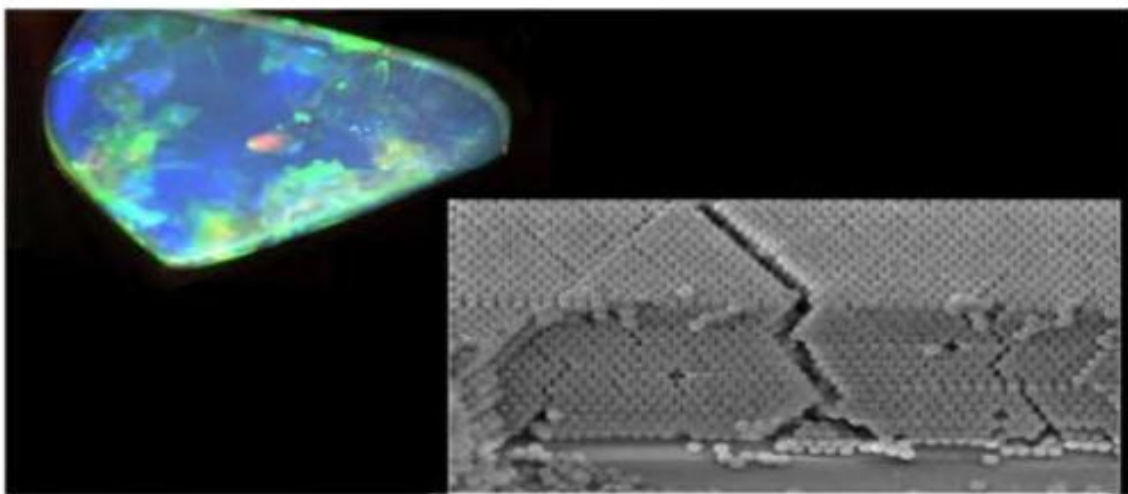
I.3.3 Les cristaux photoniques naturels :

Il existe des structures naturelles qui peuvent avoir des propriétés ayant les mêmes caractéristiques que les cristaux photoniques artificiels. En effet, certaines espèces animales

Chapitre I : Les Cristaux photoniques

[11,12] et minérales fabriquent et utilisent ces structures à des fins esthétiques et stratégiques depuis bien longtemps (Figure I-2) et ce n'est finalement que très récemment que l'homme y a trouvé un intérêt intellectuel.

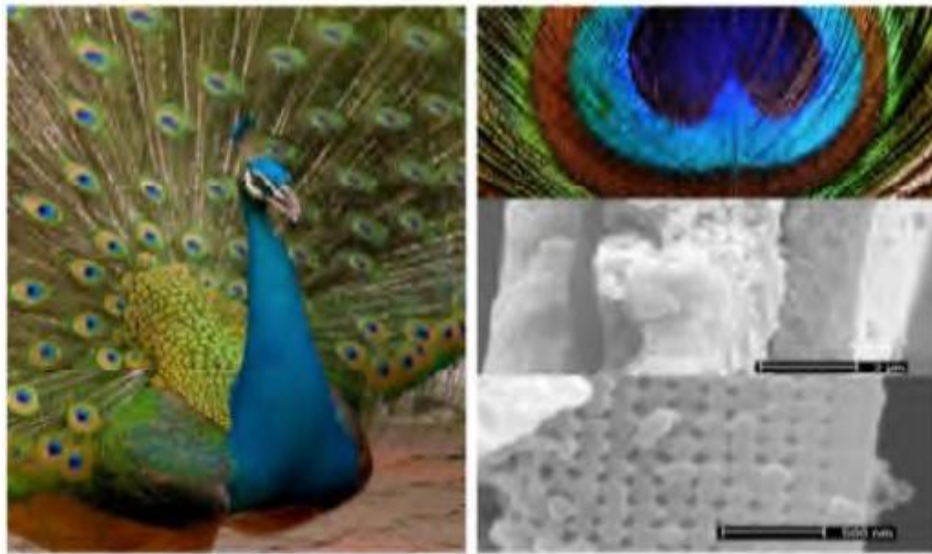
On distingue plusieurs genres de cristaux photoniques, les plus parfaits sont les cristaux photoniques naturels trouvés généralement dans l'opale qui est une roche minérale constituée de microbilles de silice réparties selon un arrangement plus ou moins régulier (Figure I.2(a)) [13]. De même dans les ailes d'insectes telles que les papillons (Figure I.2(b)) ou oiseaux (figure I-2(c)).



(a)



(b)



(c)

Figure I.2 : une vue microscopique d'une structure de cristal photonique naturel :

(a) opale, (b) papillons, (c) plume [8].

I.4. Propriétés de base des cristaux photoniques

I.4.1 Périodicité à une dimension :

Les matériaux à bandes photoniques interdites unidimensionnels (1D) possèdent une permittivité électrique périodique dans une direction et uniforme dans les deux autres directions. La figure I montre qu'ils consistent en un empilement de deux couches alternées de matériaux homogènes ayant des constantes diélectriques ϵ différentes. Ces structures existent depuis longtemps et sont utilisées en optique pour obtenir des miroirs sans pertes (miroirs de Bragg) ou des filtres.

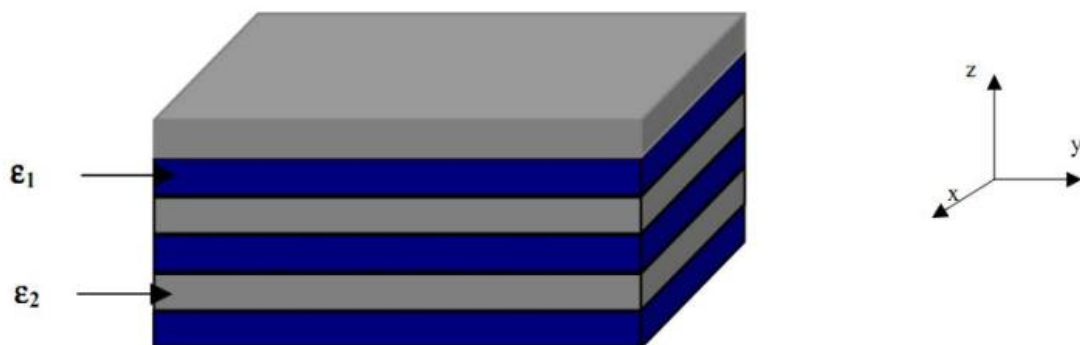


Figure I-3: BIP unidimensionnel, empilement de couches de permittivités différentes [8].

I.4.2 Périodicité à deux dimensions :

Un cristal photonique bidimensionnel est une structure qui présente une modulation périodique de la permittivité diélectrique suivant deux directions de l'espace, et homogène dans la troisième. Les propriétés optiques des structures bidimensionnelles (ainsi que les structures unidimensionnelles en incidence non normale) sont fortement dépendantes de la polarisation de l'onde électromagnétique. Il existe plusieurs façons de réaliser ces structures bidimensionnelles. Par exemple, on peut placer des tiges diélectriques dans l'air ou encore dans un autre diélectrique. Afin d'ouvrir des bandes interdites larges, il faut un contraste d'indice (différence entre les indices du milieu et des tiges) suffisamment grand [14]. Un BIP bidimensionnel peut aussi être constitué d'un ensemble de trous percés dans un diélectrique. Les réponses optiques de ces structures dépendent de la polarisation et peuvent ne pas posséder une bande interdite complète. On parle d'une bande interdite complète lorsque la structure interdit la propagation pour toutes les directions dans le plan de la périodicité, quelle que soit la polarisation.

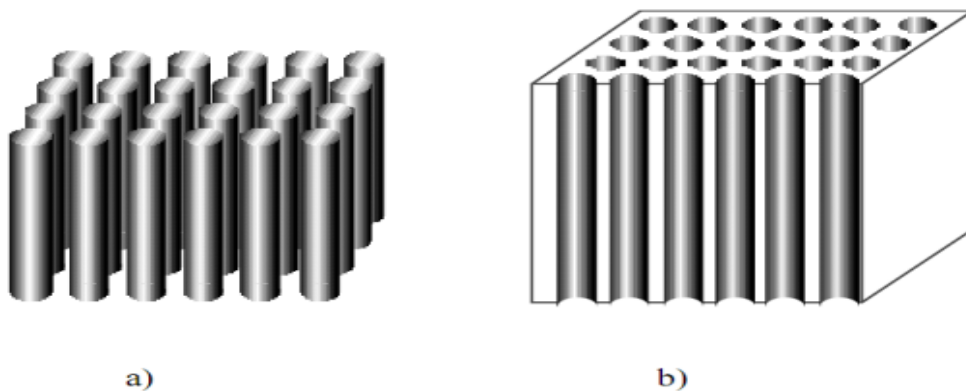


Figure I-4 : Exemple de Bips 2D, réseaux de tiges dans l'air et de trous d'air dans un matériau [14].

I.4.3. Périodicité à trois dimensions :

Les cristaux photoniques tridimensionnels sont des structures dont la permittivité diélectrique est structurée périodiquement dans les trois directions. Elles ont été les deuxièmes à être réalisées par Yablonovitch après les réseaux de Bragg. Son objectif était d'obtenir une bande interdite complète pour toutes les directions de l'espace afin d'inhiber l'émission spontanée de la lumière [15].

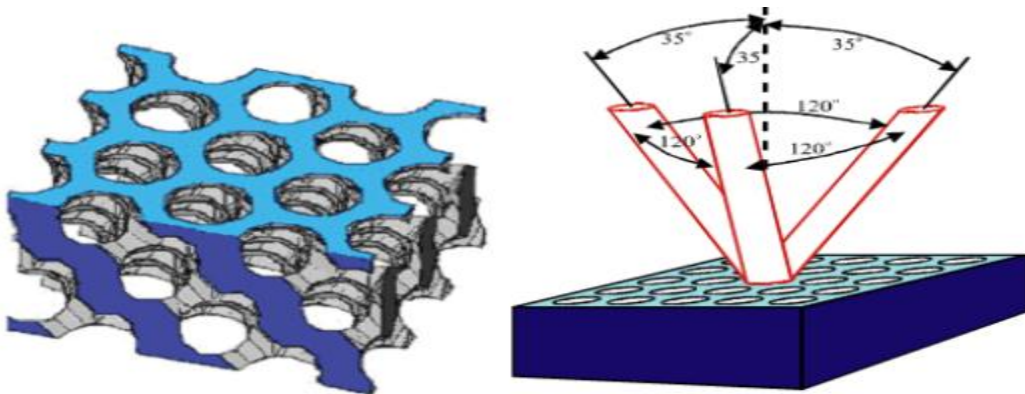


Figure I-5. La première structure BIP3D: la yablonovite.[15]

I.5.Caractéristique de cristaux photonique :

Les cristaux photoniques sont caractérisés par plusieurs paramètres [16] :

- **La dimensionnalité :**

Celle-ci est déterminée par la périodicité de l'indice de réfraction, la périodicité d'un CP peut s'étendre à une, deux ou trois dimensions (1, 2, 3D).

- **La symétrie :**

La position des briques d'un CP détermine la symétrie du réseau. Par exemple, pour un CP 3D de particules sphériques une symétrie cubique, hexagonale compacte (hc) ou cubique à face centrée (cfc) peut être obtenue .

- **La topologie :**

La topologie rend compte de l'architecture, de la compacité du matériau. Un réseau d'une symétrie donnée peut présenter des topologies différentes (cas de briques constitutives interpénétrées, en contact ou isolées).

- **Le paramètre du réseau :**

C'est la distance fondamentale entre deux briques constitutives. Il détermine la région spectrale où le CP interagit avec l'onde électromagnétique.

- **L'indice de réfraction effectif :**

Il s'écrit simplement en fonction des indices de réfraction des deux matériaux composant le cristal, pondérés par les volumes respectifs occupés : Où est la fraction

$$n_{eff} = \sqrt{(\varphi \cdot n_1 + (1 - \varphi) \cdot n_2)}$$

volumique en briques élémentaires.

Où est la fraction volumique en briques élémentaires.

- **Le contraste d'indice de réfraction :**

Ce paramètre est défini comme le rapport n_1/n_2 entre les indices de réfraction des briques et de la matrice. Il offre une idée générale de la force de diffusion des deux matériaux composants du CP.

I.6. Les types de cristaux photoniques :

Les cristaux photoniques existent sous une multitude de formes. Il existe néanmoins trois. Principales catégories : unidimensionnel, bidimensionnel et tridimensionnel. Ces dimensions représentent le nombre de directions dans lesquelles il y a une périodicité de la constante diélectrique[17].

I.6.1 Les cristaux photonique unidimensionnel :

Le cristal photonique le plus simple consiste en une structure dont la constante diélectrique est périodique suivant une seule dimension (figure II-6). Ce milieu est constitué d'une alternance de couches d'électriques de permittivités différentes et . Cette structure porte le nom de miroir de Bragg,

Pour décrire la propagation de la lumière dans un miroir de Bragg, considérons une onde plane qui se propage avec un vecteur a incidence normale. Le miroir de Bragg est constitué d'une alternance de couches d'épaisseurs a_1 et a_2 et de permittivités ϵ_1 et ϵ_2 ($\epsilon_1 > \epsilon_2$). La période est $a = a_1 + a_2$ dans la direction de l'empilement [18].

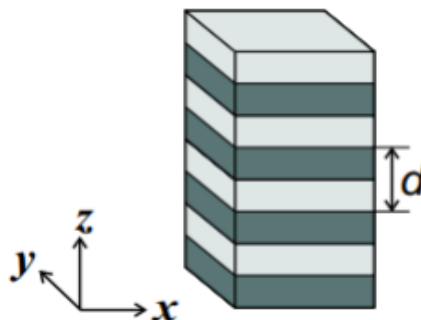


Figure I-6: Schéma d'un cristal photonique unidimensionnel constitué d'un empilement de couches diélectriques de période [19].

I.6.2 Les cristaux photonique bidimensionnel :

Un cristal photonique bidimensionnel est une structure qui présente une modulation périodique de la permittivité diélectrique suivant deux directions de l'espace, et homogène dans la troisième.

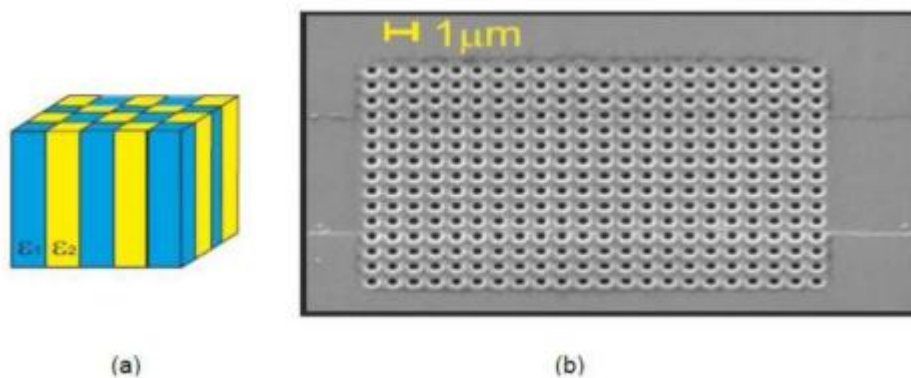


Figure I.7: (a) Cristal photonique 2D. (b) Matrice de trous d'air réalisée sur un substrat de Niobate de Lithium avec une période $a = 825$ nm et un rayon $r = 206$ nm

Les cristaux photoniques 2D se regroupent principalement suivant trois familles qui sont les réseaux carrés, triangulaires et hexagonal

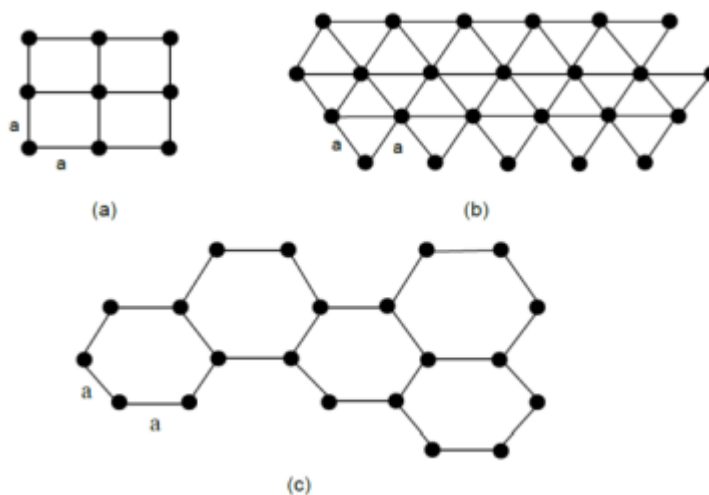


Figure I-8: Structures 2D : a) Structure carrée, (b) Triangulaire et (c) Hexagonale.

Les propriétés optiques des structures bidimensionnelles sont fortement dépendantes de la polarisation de l'onde électromagnétique.

Il existe plusieurs façons de réaliser ces structures bidimensionnelles. Par exemple, on peut placer des tiges diélectriques dans l'air ou encore dans un autre diélectrique. Afin d'ouvrir des bandes interdites larges, il faut un contraste d'indice suffisamment grand. Un CP bidimensionnel peut aussi être constitué d'un ensemble de trous percés dans un diélectrique. Un CP 2D parfait est donc un cristal périodique dans le plan (O, X, Y) et infiniment long dans la direction (Oz) [20].

I.6.3 Les cristaux photonique tridimensionnel :

Les CP tridimensionnels se sont avérés être les structures CP les plus difficiles à fabriquer. Alors que la recherche 2D CP a tiré un avantage significatif de la technologie de traitement des couches minces et des semi-conducteurs 1D CP bien établie, comme le dépôt plasma et la lithographie par faisceau d'électrons, la fabrication de CP 3D a nécessité le développement de techniques entièrement nouvelles. Pour cette raison, il a fallu plus de trois ans après la proposition initiale de matériaux à bande interdite 3D [21, 22] pour qu'une structure soit calculée pour présenter une bande interdite pour toutes les directions et toutes les polarisations [23]. La conception consistait en des sphères diélectriques positionnées aux sommets d'un réseau de diamant. Diélectriques de contraste à haut indice.

Depuis ces premières études, une large gamme de géométries 3D CP présentant des bandes interdites complètes a été démontrée à la fois en théorie et en expérience. Par exemple, un CP 3D « tas de bois » est illustré à la Fig-I-9. En raison des défis liés à la fabrication de structures de haute qualité avec des caractéristiques à l'échelle des longueurs d'onde optiques, les premières expériences sur les cristaux photoniques ont été réalisées à des fréquences micro-ondes et infrarouges moyennes [24-25]. Avec l'amélioration des méthodes de fabrication et de traitement des matériaux, des structures plus petites sont devenues réalisables, et en 1999 le premier CP 3D avec une bande interdite aux fréquences de télécommunications a été signalé [26]. Depuis lors, diverses géométries de réseau ont été signalées pour fonctionner à des fréquences similaires [27-28].

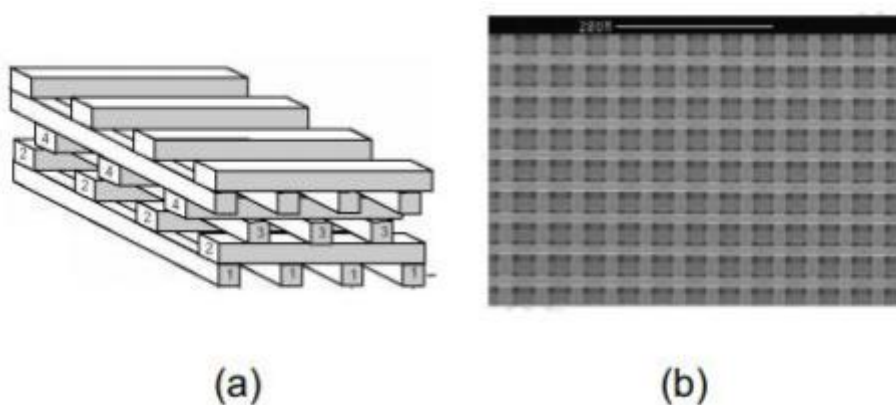


Figure I-9: Un exemple d'une structure de pile de bois 3D(a) Schéma d'une pile de bois idéale CP. (b) Image SEM d'un vrai tas de bois 3D [24].

I.7. Diagrammes de bandes :

Pour calculer les diagrammes de bandes il faut considérer pour chaque cristal, toutes les directions de propagation possibles. Comme en physique du solide [29], on montre que pour certaines symétries du cristal, on peut limiter l'étude aux vecteurs d'ondes k situés à l'intérieur d'une zone restreinte appelée zone de Brillouin irréductible. Le vecteur k varie le long des directions de hautes symétries de cette zone qui fait partie du réseau réciproque.

Nous allons définir dans la section suivante le réseau réciproque et la zone de Brillouin.

▪ Le réseau réciproque :

Beaucoup de propriétés des cristaux photoniques (CPs) sont directement compréhensibles par l'étude de leur diagramme de bandes. Pour les étudier, on utilise les notions de réseau réciproque et de zones de Brillouin.

Considérons une structure périodique à deux dimensions représentée sur la figure suivant.

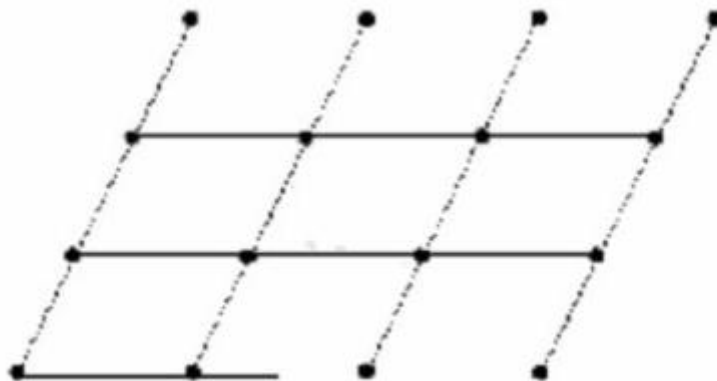


Figure I-10 : Réseau directeur cette figure apparaissent neuf mailles élémentaires, l'ensemble de ces mailles constitue un réseau direct. Nous pouvons obtenir une maille élémentaire de même surface de la manière suivante. :

- On trace les lignes qui relient un nœud donné à tous ses voisins.
- On trace les médiatrices de ces segments.

Les zones de Brillouin (ZB) sont des régions qui partitionnent l'espace réciproque associé au cristal. Il en existe une infinité et peuvent être définies à l'aide des plans de Bragg qui sont les plans médiateurs de l'ensemble des vecteurs formés par des combinaisons linéaires des vecteurs du réseau réciproque.

La définition de la $n^{\text{ième}}$ zone de Brillouin est la suivante : ensemble des points pouvant être atteint depuis l'origine en croisant 1 - n plans de Bragg (Figure I-11).

On appelle zone de Brillouin irréductible la plus petite surface qui permet de déduire la relation de dispersion dans tout l'espace réciproque. Elle correspond à la plus petite surface qui peut être utilisée pour reconstruire la première zone de Brillouin (ZB) en utilisant les symétries du réseau réciproque.

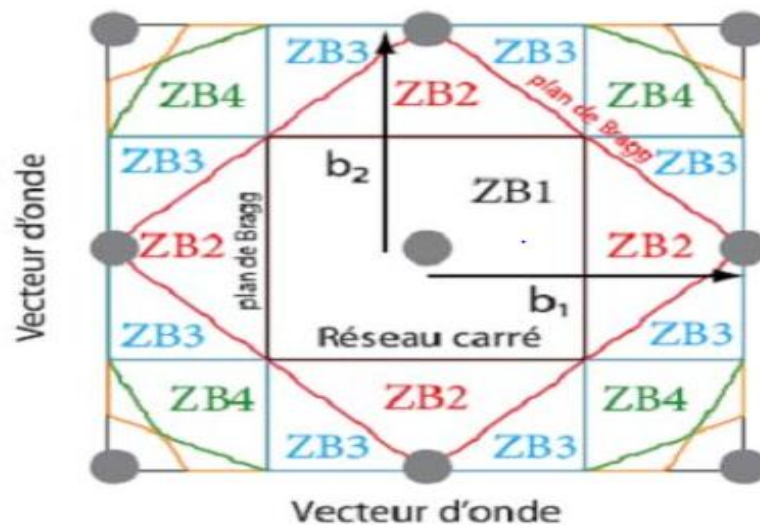


Figure I-11 : Premières zones de Brillouin (ZB) d'un réseau carré. Les plans de Bragg sont tracés en différentes couleurs. La ZB n°3 est atteinte en traversant 2 plans de Bragg (droite noire puis droite rouge).

▪ Le réseau triangulaire :

La géométrie la plus utilisée dans la littérature pour réaliser les structures BIP 2D est la structure hexagonale [29]. On peut obtenir un réseau hexagonal en ôtant quelques motifs au réseau triangulaire précédent. La figure 12 en donne les principales caractéristiques.

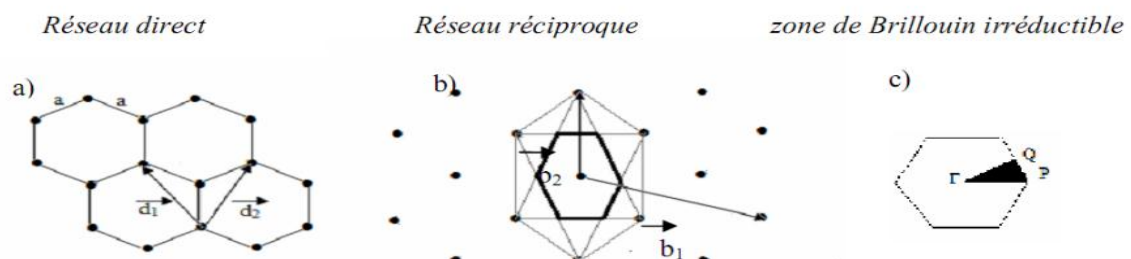


Figure I.12. : Représentation a) d'un réseau hexagonal b) de son réseau réciproque c) et de sa zone De Brillouin.

I.7.1. Cristal photonique 2D - Diagramme de bandes

Un cristal BIP bidimensionnel [30,31] est une structure dont la permittivité diélectrique est modulée périodiquement dans deux dimensions et reste homogène dans la troisième. Ces structures périodiques sont par exemple composées de cylindres diélectriques parallèles. Elles présentent une relative simplicité géométrique qui facilite les modélisations théoriques et les études expérimentales.

Pour étudier le comportement d'une onde électromagnétique incidente sur une telle structure deux polarisations sont possibles :

La polarisation électrique TE correspond au cas où le champ électrique E est parallèle aux cylindres infinis. Alors que celle magnétique TM correspond au cas où E leur est perpendiculaire (figure I-12).

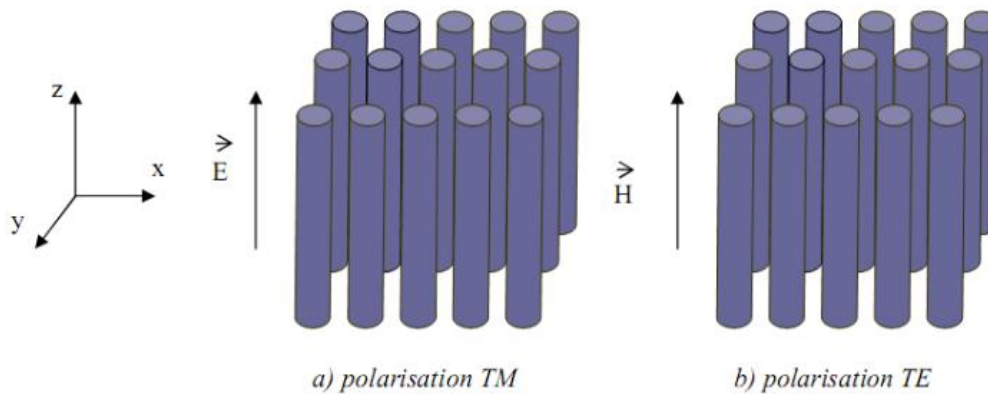


Figure I-13 : Représentation des polarisations TE et TM dans un BIP 2D

Dans les cristaux 2D, les ondes électromagnétiques se propagent dans le plan perpendiculaire aux tiges et peuvent être séparées en deux polarisations TE ou TM. Les bandes interdites qui apparaissent dans chaque cas doivent se superposer pour former une bande interdite totale. Elle empêche ainsi la propagation de l'onde incidente quelle que soit sa polarisation. Nous présentons sur la figure I-13 l'exemple d'un diagramme de bande d'un cristal photonique 2D en polarisation TE et TM.

En réalité, nous ne pouvons obtenir théoriquement une bande interdite complète que dans le cas des structures 3D, où il n'y a aucune propagation de l'onde incidente quelle que soit la polarisation et la direction de l'onde incidente.

Les diagrammes de la figure I-13 représentent :

- En abscisse, le parcours fait par le vecteur d'onde lorsqu'il décrit le contour formé par les points de haute symétrie Γ , M, K de la première zone de Brillouin.
- En ordonnée, les fréquences des modes calculés.

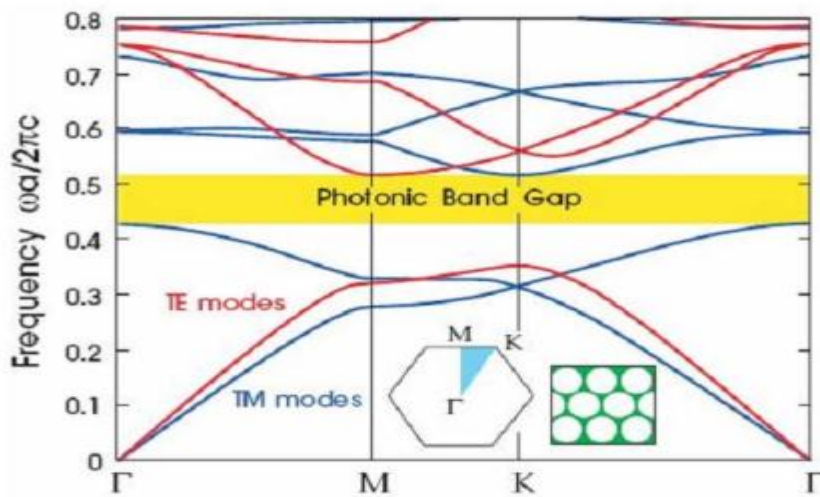


Figure I-14 : Diagramme de bande d'un BIP 2D en polarisation TM et TE .

I.7.2. Cristal photonique à trois dimensions- Diagrammes de bandes :

La réalisation technologique des BIP 3D est particulièrement difficile s'ils sont destinés à fonctionner dans le visible. Les techniques généralement mises en œuvre sont particulièrement lourdes.

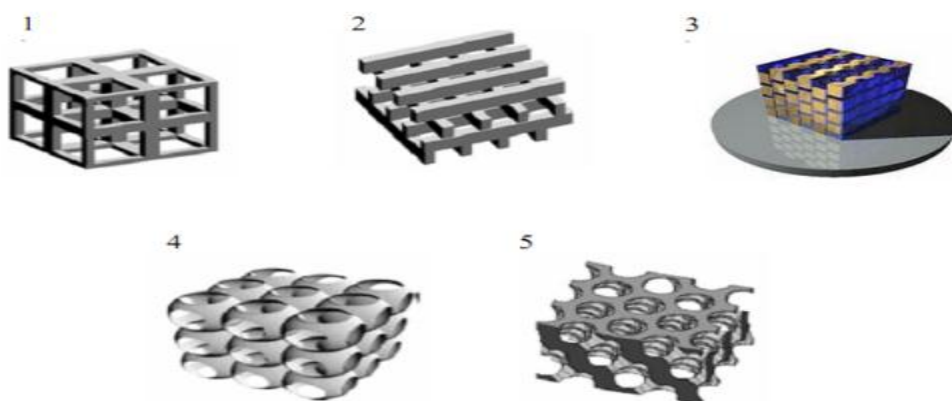


Figure I-15 : Différentes structures 3D : la structure cubique (1) ; tas de bois (2) ; Structure multicouche (3) ; les opales (4) et la Yablonovite (5) .

La première structure tridimensionnelle expérimentale avec un gap complet fut réalisée par E. Yablonovitch, dans le domaine des micro-ondes en 1991[32]. Cette structure est réalisée en perçant mécaniquement des trous selon trois axes du réseau de type diamant.

Il a été possible avec les progrès de la micro fabrication, d'observer des bandes interdites tridimensionnelles complètes dans le proche infrarouge, pour des structures du type « tas de bois » [33].

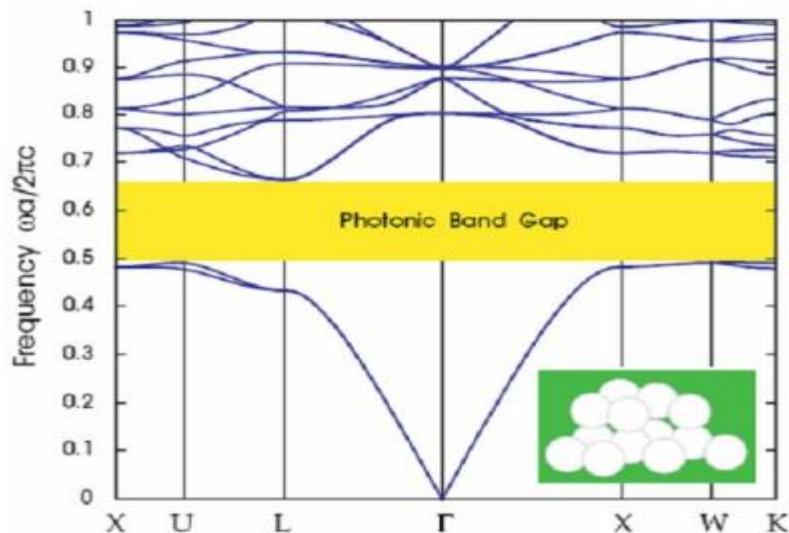


Figure I-16 : Exemple d'un diagramme de bande d'un réseau diamant de sphères d'air dans un diélectrique à haute permittivité ($\epsilon = 13$) .

I.8. Des défauts :

Les défauts dans les cristaux photoniques peuvent localiser des modes. Dans des cristaux 1D, on peut confiner la lumière dans un plan défaut. Dans des cristaux 2D on peut localiser la lumière dans un défaut linéaire. Finalement en 3D, on peut confiner la lumière a un défaut localise, donc en un point du réseau.

Dans le cas d'un réseau de trous, le défaut peut consister en l'absence d'un ou plusieurs trous. Il existe principalement deux types de défauts, les défauts ponctuels (cavités) et les défauts linéaires (guide d'ondes). Il reste néanmoins possible de jouer sur plusieurs paramètres pour obtenir une grande variété de défauts (variation de la taille des trous et de leurs formes par exemple).

Les deux façons les plus faciles à perturber la périodicité du réseau sont :

1. ajouter du matériau diélectrique en plus : un défaut diélectrique
2. Supprimer du matériau diélectrique : un défaut d'air

I.8.1. Défauts ponctuels :

Les défauts ponctuels sont créés en modifiant les caractéristiques d'une cellule du réseau. Pour les cristaux photoniques composés de cylindres diélectriques, la constante diélectrique d'un cylindre peut être changée. Le cylindre peut être enlevé, ce qui crée une lacune dans le cristal. Cela correspond à une micro-cravate à l'intérieur du cristal photonique. Pour les cristaux photoniques constitués de trous dans un matériau diélectrique, ces trous peuvent être modifiés géométriquement.

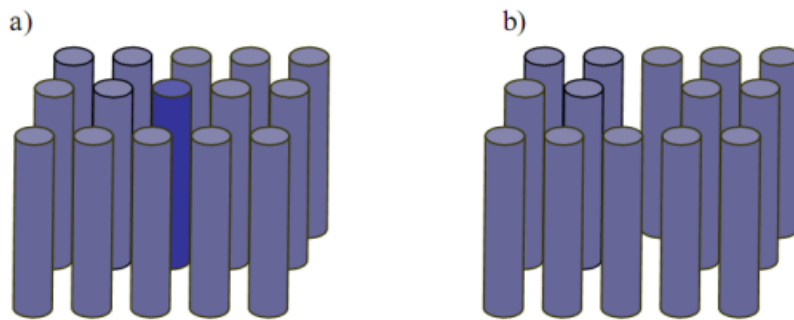


Figure I-17 : Défauts ponctuels : a) Modification de la permittivité d'une tige (il vaut mieux faire la tige centrale en rouge) b) Absence de la tige centrale.

Les modes électromagnétiques introduits par le défaut sont appelés modes de défaut. C'est un mode dont la fréquence peut se situer dans la bande interdite et qui est localisé autour du site du défaut.

Les caractéristiques de ces défauts ont été étudiées par plusieurs équipes [34]. [35]. Ces deux derniers ont été parmi les premiers dès 1991 à calculer les fréquences des modes de défauts dans un cristal photonique de réseau carré. La transmission de ces structures a été étudiée par [36;37;38] Joannopoulos et al ont montré théoriquement que les propriétés des modes de défauts peuvent être contrôlées en modifiant la taille et le type de défauts.

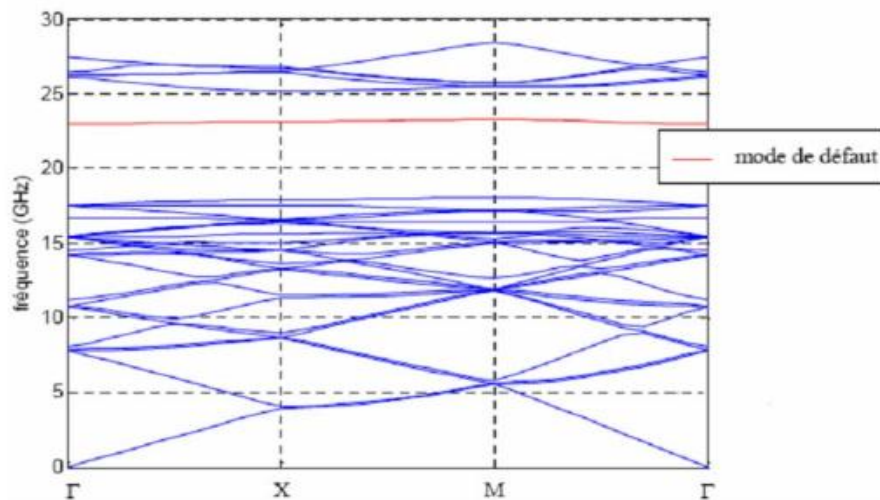


Figure I-18 : Diagramme de dispersion d'une structure 2D avec défaut .

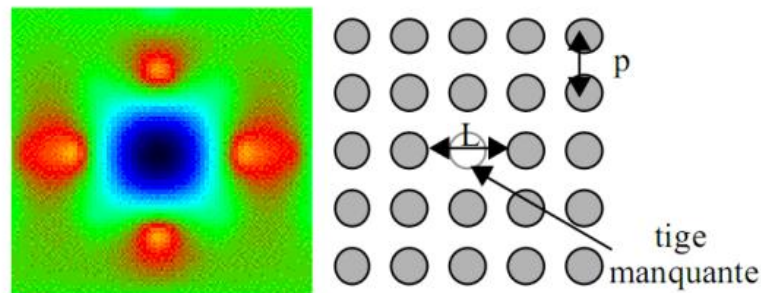


Figure I-19: Résonance à 35.5 GHz de la cavité engendrée par la suppression d'une tige pour le réseau carré diélectrique de tiges d'alumine pas=3mm, d=1.5mm (onde polarisée TM en incidence normale). L'énergie est concentrée sur les quatre premières tiges voisines de défauts[39].

I.8.2. Les défauts linéaires

Ces défauts permettent de réaliser un guidage diffractif des ondes appelé aussi défauts étendus, de dimension 1,2 ou 3, ne peuvent évidemment être obtenus que dans les cristaux de dimension au moins équivalente. Parmi ces défauts, les défauts 1D (**W1**) (Figure II.19), sont certainement ceux qui ont suscité le plus grand nombre d'études car ils ont vocation à être utilisés comme guides de lumière au sein d'un cristal donné. On peut d'ailleurs imaginer des défauts 2D (**W2**) ou 3D (**W3**) constitués d'une suite de guides W1, mis bout à bout et orientés dans les directions différentes, de façon à véhiculer la lumière sur tous les chemins possibles à l'intérieur du cristal. L'exemple de base est celui du guide d'onde linéaire W1 dans un cristal photonique 2D. Une façon de réaliser un tel guide consiste à placer des défauts ponctuels, couplés et régulièrement espacés, dans une direction du cristal 2D. Le couplage entre une

infinité de résonateurs conduit à une bande de propagation permise dans la direction de l'alignement. Ce type de guide à résonateurs couplés a été proposé en 1999 [40].

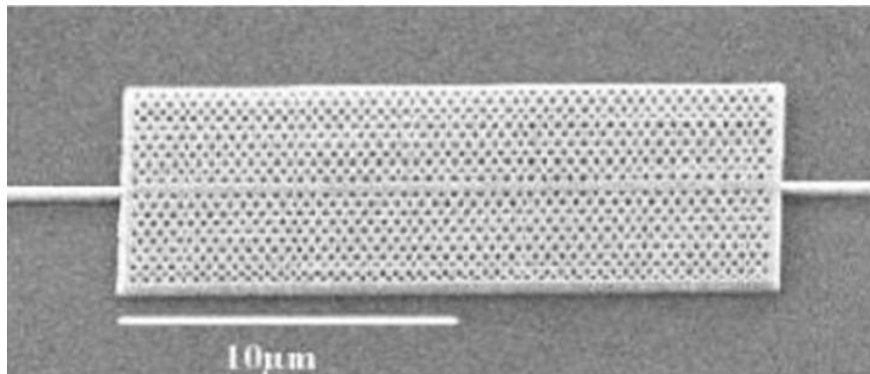


Figure I-20: Exemple de guide W1 à cristal photonique triangulaire de trous d'air sur un substrat de silicium sur isolant. [41].

I.8.3 .Guides d'ondes :

En introduisant un défaut linéaire (omission d'une ou plusieurs rangées de motifs élémentaires), il est possible de guider la lumière selon une direction choisie. La lumière va se propager le long de ce guide avec une fréquence appartenant à la bande interdite photonique du cristal (figure I.20 a). Des guides d'ondes classiques à base de matériaux diélectriques sont réalisés depuis longtemps. L'onde se propage dans le diélectrique d'indice fort et se réfléchit totalement sur les bords qui sont constitués d'un diélectrique d'indice plus faible. L'intérêt des guides d'ondes BIP par rapport à ceux traditionnels c'est qu'ils présentent de faibles pertes au niveau des courbures (figure I-20 .b). Le fait de recourber l'un de ces guides sur lui-même permet d'obtenir un anneau et seuls quelques modes peuvent rester dans cet anneau. . [42].

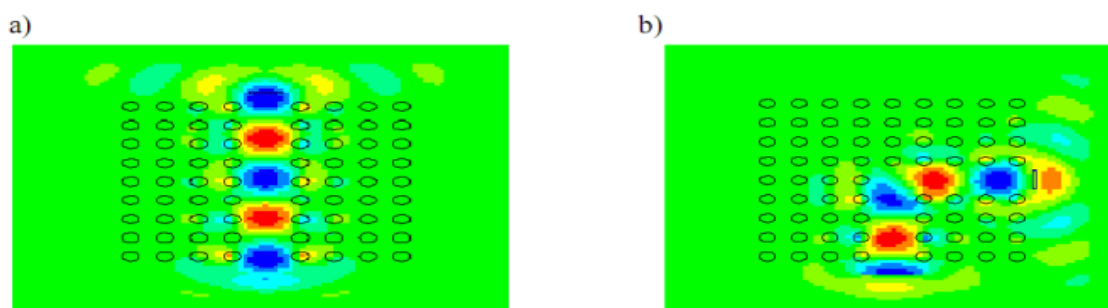


Figure I-21 : Guide d'onde de la structure GaAs dans l'air à motif carrée montrant la distribution du champ E_y autour du défaut en polarisation.

a) Rectiligne b) Courbures à 90° (simulée par le logiciel Rsoft).

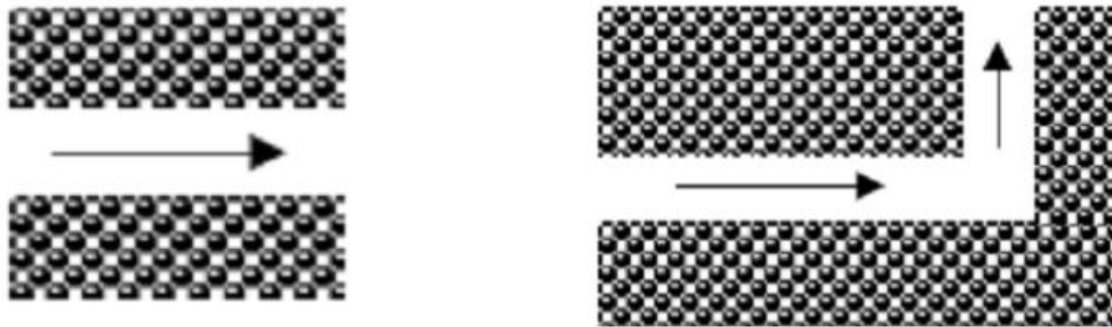


Figure I-22 : a) Guide d'onde b) Guide d'onde à courbures extrêmes.

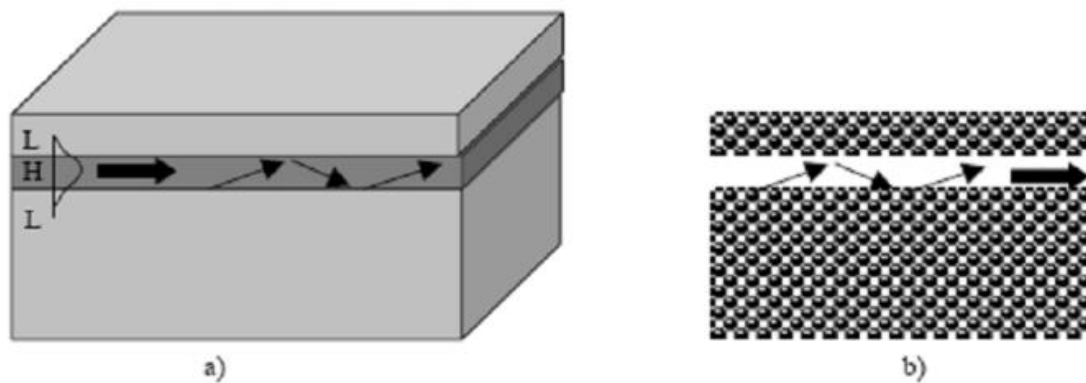


Figure I-23 : a) Guide réfractif : modèles de rayons en zig-zig avec réflexions totales et ondes évanescentes b) guidage par bande interdite photonique.

▪ Intérêts du guide à cristal photonique :

Le guide d'onde optique est à l'optique intégrée ce que l'interconnexion électrique est aux circuits intégrés de l'électronique. Or on sait que les lignes d'interconnexion occupent la majeure partie de la surface d'un circuit en silicium ; leur densification intervient au même titre que la réduction de la taille des composants dans l'accroissement des performances du circuit. Ce parallèle illustre bien l'importance que représente la fonction de guidage optique, même s'il s'agit d'une fonction passive, comparée aux fonctions d'émission ou de conversion de signal. Dans ce contexte, l'intérêt des guides à cristal photonique est double.

Le premier intérêt du guide à cristal photonique se situe au niveau de sa conception. En effet, défini par le retrait, l'ajout ou la modification de motifs dans une ou plusieurs, rangées parallèles du cristal, le guide peut être introduit dès l'étape d'écriture des motifs (ce qu'on appelle l'étape de lithographie). L'introduction d'un grand nombre de guides en parallèle ou

en série ne pose pas plus de difficultés que d'introduire un seul guide, car les motifs du cristal se répètent à l'identique de façon périodique. En quelque sorte, on dispose d'un véritable «mécano» optique avec un nombre limité d'éléments de base :

Le deuxième intérêt du guide à cristal photonique réside dans le fait que le guidage est plus «robuste» que celui rencontré dans les guides classiques. Dans le cas présent, dû à l'effet de bande interdite photonique, les parois du guide à cristal photonique se comportent comme des parois parfaitement réfléchissantes. L'avantage est décisif dès lors que l'on souhaite changer fortement la direction de propagation de la lumière en la guidant. Pour s'en convaincre, il suffit d'imaginer la situation dans laquelle on tordrait une fibre optique en lui imposant un rayon de courbure trop petit. Outre le fait que la torsion pourrait être préjudiciable à la tenue mécanique de la fibre, la lumière s'échapperait de la fibre à l'endroit du coude. Le faible contraste d'indice entre le cœur et la gaine de la fibre ne permettrait pas d'atteindre la condition de réflexion totale à l'intérieur de la fibre. La situation est forcément différente si la lumière est emprisonnée entre des parois parfaitement réfléchissantes.

▪ Les guides d'ondes courbés :

Les guides courbés permettent théoriquement de réaliser des virages avec des rayons de courbure de l'ordre de la longueur d'onde. Le cristal est obtenu par une gravure périodique de trous dans des couches semi-conductrices, la période étant d'environ 280nm. L'omission de deux rangées de trous dans la direction ΓK définit ici le cœur des régions guidées. Le virage est ainsi constitué de deux bras faisant entre eux un coude de 120° et la lumière tourne sur moins de trois périodes du cristal.

Une telle géométrie de guidage est inconcevable dans l'optique guidée classique sur matériau semi conducteur. La démonstration expérimentale du guidage dans des virages a été réalisée rapidement, mais des problèmes de réflexion et de pertes subsistent. Dans le cristal photonique hexagonal ou triangulaire, ces virages peuvent être réalisés simplement en omettant de graver des trous dans les directions de symétrie du cristal. Dans le cas des virages simples, les meilleurs résultats mesurés ont été des transmissions d'environ 80 à 90 % pour un guide étroit (une rangée de trous omise) et de 78 % pour un guide plus large [43].

I.9. Applications des cristaux photoniques :

Les applications des cristaux photoniques sont multiples et touchent de nombreux domaines. La plupart de ces applications sont en domaine optique, informatique, microonde et télécommunications. Nous allons décrire quelques exemples d'applications principales des cristaux photoniques tels que : cavités [44], guides d'ondes [45], filtres [46], capteurs [47], multiplexeurs/démultiplexeurs [48].

I.10. Conclusion

Un cristal photonique est un matériau généralement artificiel qui présente une périodicité spatiale du constant diélectrique, dans une, deux ou trois directions de l'espace. Ce nouveau type de matériau est capable de bloquer la propagation des ondes optique, élastiques ou acoustiques dans certaines directions de propagation. Dans ce chapitre, nous avons rappelés les concepts fondamentaux et les notions de bases associées aux cristaux photoniques.

Références bibliographiques

- [1] E. YABLONOVITCH., PhysicalReviewLetters, 58(20), 20592062 (1987).
- [2] S. JOHN., Physical Review Letters 58, 2059 (1987).
- [3] E. Yablonovitch, « Photonic band-gap crystals », J. Phys: Condensed Matter, Vol 5 N°16, pp. 2443-2460, 1993.
- [4] P. C. Lacaze, « Les nanotechnologies : Concepts et applications », Lavoisier, pp 113-114,
- [5] T. Zouache, A. Hocini, A. Harhouz, R. Mokhtari , Design of pressure sensor based on two-dimensional photonic crystal, Acta Phys. Pol. A 131 (2017) 68–70.
- [6] E. Yablonovitch, Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics .Phys. Rev. Lett. 58 (20) (1987) 2059–2062.
- [7] Yablonovitch, E., et al. “Photonic Band Structure: The Face-Centered-Cubic Case Employing Nonspherical Atoms.” PLOS Biology, Public Library of Science, 21 Oct. 1991.
- [8] M. Aschwanden, A. Stemmer, ”Polymeric, electrically tunable diffraction grating based onartificial muscles, Opt. Lett., Vol. 31, N°17, p. 2610-2612, 2006.
- [9] L. P. Biro, Z. Bálint, K. Kertész, Z. Vértesy, G. I. Márk, Z. E. Horvath, J. Balazs, D. Mehn,I.Kiricsi, V. Lousse, and J.-P. Vigneron, Role of photonic-crystal-type structures in the thermal regulation of a lycaenid butterfly sister species pair , Phys. Rev. E, Vol. 67, p. 021907, 2003.
- [10] C.Sauvan, études de la propagation et du confinement de la lumière dans des nanostructures, thèse de doctorat en science, Université de paris XI Orsay, 20052610-2612, 2006.
- [11] C. Kittel, "Physique de L'état Solide", 7eme edn. (Dunod), Paris, (2005).
- [12] D. Cassagne, C. Jouanin, D. Bertho “Hexagonal photonic band gap structures” Physical Review B, Vol. 53, pp. 7134-7141, (1996) .
- [13] K. M. Ho, C. T. Chan, and C. M. Soukoulis, « Existence of a photonic gap in periodic dielectric structures », Phys. Rev. Lett. 65, 3152–3155 (1990).
- [14] Pascal Massé, « *Cristaux photoniques colloïdaux d'architecture contrôlée* »,Thèse de doctorat, L'université Bordeaux I ,2008.
- [15]https://fr.wikipedia.org/wiki/Cristal_photonique.
- [16] Barbara WILD, « étude expérimentale des propriétés optiques des cristaux photoniques bidimensionnels et de leur accordabilité »,thèse de doctorat, école polytechnique fédérale de lausanne ,2006.
- [17] <https://ses.library.usyd.edu.au/bitstream/handle/2123/924/02whole.pdf>

- [18] ZAKARIYA OULMANE, AMMAR BELHOUL, « *Réalisation d'une interface graphique pour le calcul des bandes interdites dans les cristaux photoniques 2D* », mémoire de master, Université Mohamed Seddiki Benyahia – JIJEL, 2019
- [19] E. Yablonovitch, « *Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics* », *Phys. Rev. Lett.* 58, 2059–2062 (1987).
- [20] S. John, « *Strong localization of photons in certain disordered dielectric super lattices* », *Phys. Rev. Lett.* 58, 2486–2489 (1987).
- [21] K. M. Ho, C. T. Chan, and C. M. Soukoulis, « *Existence of a photonic gap in periodic dielectric structures* », *Phys. Rev. Lett.* 65, 3152–3155 (1990).
- [22] E. Yablonovitch, T. J. Gmitter, and K. M. Leung, « *Photonic band structure: the face entered-cubic case employing non-spherical atoms* », *Phys. Rev. Lett.* 67, 2295–2298 (1991).
- [23] S. Y. Linn, J. G. Fleming, D. L. Hetherington, B. K. Smith, R. Biswas, K. M. Ho, M. M. Sigalas, W. Zubrzycki, S. R. Kurtz, and J. Bur, « *A three-dimensional photonic crystal operating at infrared wavelengths* », *Nature* 394, 251–253 (1998).
- [24] J. G. Fleming and S. Y. Lin, « *Three-dimensional photonic crystal with a stop band from 1.35 to 1.95 μm* », *Opt. Lett.* 24, 49–51 (1999).
- [25] S. Noda, K. Tomoda, N. Yamamoto, and A. Chutinan, « *Full three-dimensional photonic bandgap crystals at near-infrared wavelengths* », *Science* 289, 604–606 (2000).
- [26] M. O. Jensen and M. J. Brett, « *Square spiral 3D photonic bandgap crystals at telecommunications frequencies* », *Opt. Express* 13, 3348–3354 (2005).
- [27] <http://www.sst.ph.ic.ac.uk/photonics>.
- [28] <http://www.elec.gla.ac.uk/areynolds/SoftwareMain.htm>.
- [29] D. Maystre, Electromagnetic study of photonic band gaps. *Pure and applied optics* 3, p. 975 (1994).
- [30] M. Nevière, E. Popov et R. Reinisch, Electromagnetic resonances in linear and nonlinear optics: Phenomenological study of gratin g behavior through the poles and zeros of the scattering operator. *Journal of the optical society of America A* 12, p. 513 (1995).
- [31] J. B. Pendry, Photonic band structures. *Journal of modern optics* 41, p. 209 (1994).
- [32] M. Le Vassord'Yerville (GES, Université Montpellier II, France), Losses of linear waveguides in photonic crystal slabs, Workshop on two-dimensional photonic crystals. Ascona, Suisse (2002).

- [33] E.Montanari, S.Selleri, L.Vincetti, and M.Zoboli, Finite-element, full-Vectorial, propagation Analysis for Three-Dimensional z-Varying Optical Waveguides. J. Light wave Technol, vol.16,no.4, Apr. (1998).
- [34] P. Bontoux, Conception, réalisation et test de systèmes d'interconnexions optiques. Thèse de doctorat, école centrale de Lyon (2003).
- [35] P. Bienstman, Rigorous and efficient modelling of wavelengthscale photonic components. These de doctorat, université de Gent, Belgique (2001).
- [36] E. Yablonivitch, T. J. Gmitter, K. M. Leung, Photonic Band Structure: The Face-centred Cubic Case Employing Nonspherical Atoms, Phy. Rev. Lett., 67, p2295-2298 (1991).
- [37] R. D. Meade, Karl D. Brommer, Andrew M. R, and J. D. Joannopoulos, Photonic bound states in periodic dielectric materials, Phs. Rev. B, 44, pp13772-13774 (1991).
- [38] Melle Benaissa Fatima « Etude et Simulation de la Propagation des Ondes Electromanétique dans les guides à Cristaux Photoniques-Application aux Fibres optiques » mémoire de magister, Université de abou-bakr belkaid-tlemcen.
- [39] E. Yablonovitch "Photonic Band-gap Crystals" J. Physics Condens. Matter 5, p. 2443-2460, printed in the UK, 1993.
- [40] M. Sigalas, C. M. Soukoulis, E. N. Economou, C. T. Chan, and K. M. Ho, Photonic band gaps and defects in two dimensions: Studies of the transmission coefficient, Phys. Rev. B 48, 14121 (1993).
- [41] F. Gadot, Modélisation et caractérisation expérimentale de matériaux à Bandes Interdites Photoniques (BIP) en Micro-ondes, thèse de Doctorat, Univ. De Paris sud, Janvier (1999).
- [42] K. Sakoda: Optical Properties of Photonic Crystals Manual, Springer, (2001).
- [43] Y. Merle, " Etude de la dispersion électromagnétique dans les matériaux périodiques diélectriques bidimensionnels", thèse de Doctorat, Univ. de Limoges, (2003).
- [44] A. Hocini, R. Moukhtari, D. Khedrouche, A. Kahlouche, M. Zamani, Magneto-photonic crystal microcavities based on magnetic nanoparticles embedded in silica matrix, Opt. Commun. 384 (2017) 111–117.
- [45] B. Chen, L. Huang, Y. Li, C. Liu, G. Liu, A compact optical wavelength splitter in one-dimensional photonic crystal waveguides, J. Mod. Opt. 59 (13) (2012) 1186–1193.
- [46] M. Banihashemi, V. Ahmadi, Nonlinear response of high efficient in-plane channel drop filter in Si heterostructure photonic crystal slab, J. Mod. Opt. 58 (7) (2011) 587–592.

- [47] A. Harhouz, A. Hocini, Design of high-sensitive biosensor based on cavity-waveguides coupling in 2D photonic crystal, *J. Electromagn. Waves Appl.* 29 (5) (2015) 659–667.
- [48] M. Koshiba, S. Member, and A. Abstract, “Wavelength Division Multiplexing and Demultiplexing With Photonic Crystal Waveguide,” vol. 19, no. 12, pp. 1970–1975,

**CHAPITRE
II**

**CAPTEUR
À BASE DE
CRISTAUX
PHOTONIQUE**

I.1. Introduction

Dans un grand nombre de domaine, il est nécessaire d'avoir accès à une grandeur physique. Cette connaissance permet de connaître l'état physique d'un système et de pouvoir prendre des décisions quand à la conduite de celui-ci. Les décisions peuvent être automatique c'est à dire prise par un calculateur ou prise par un opérateur humain via une interface homme machine. Dans les deux cas, l'état physique du système doit être connu sous la forme d'une grandeur électrique : tension ou courant car les systèmes de traitement n'utilise que ces grandeurs. L'opération qui permet de transformer une grandeur physique en une grandeur électrique est réalisée par un capteur [1].

Les capteurs chimiques, physiques et les biocapteurs développés depuis quelques dizaines d'années sont maintenant adoptés et largement utilisés dans tous les domaines de la vie courante (qualité de l'eau et de quelques produits de l'agroalimentaire, analyses biologiques, dépollution,.....). La sensibilité, la sélectivité, la spécificité et la durabilité des capteurs ont toujours été des paramètres essentiels dans leur conception [2] .

Dans ce premier chapitre nous présentons les notions de base sur des capteurs, définition, leurs caractéristiques et les différents types des capteurs.

I.2. Généralités sur les capteurs :

I.2.1.Définition :

Un capteur est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle qu'une tension électrique, une fréquence, une hauteur de mesure, une intensité ou la déviation d'une aiguille. On peut dire qu'un capteur est un dispositif qui sous l'effet d'une grandeur physique que l'on souhaite connaître et caractériser, délivre une grandeur physique exploitable on parle ainsi d'un transducteur [3].

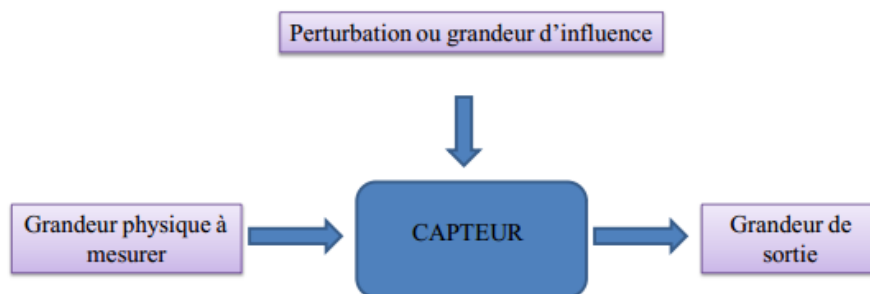


Figure II.1 : Définition d'un capteur [3].

I.2.2. Les grandeurs d'influence

Le capteur, de par ses conditions d'emploi, peut se trouver soumis non seulement au mesurande mais à d'autres grandeurs physiques dont les variations sont susceptibles d'entraîner un changement de la grandeur électrique de sortie qu'il n'est pas possible de distinguer de l'action du mesurande. Ces grandeurs physiques "parasites" auxquelles la réponse du capteur peut, être sensible sont les grandeurs d'influence [4]. On retrouve les grandeurs de type mécanique (variations de pression, les forces qui provoquent des déformations...) ou thermique (variation de température qui engendre la dilatation des corps et la modification des propriétés électriques tels que le changement de conductibilité et de caractéristiques diélectriques) mais aussi des grandeurs électriques (paramètres électriques, tels que courant, tension, fréquence, des circuits d'alimentation du capteur)[5].

Les principales grandeurs d'influence sont :

- la température qui modifie les caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles des composants du capteur ; la pression, l'accélération et les vibrations susceptibles de créer dans certains éléments constitutifs du capteur des déformations et des contraintes qui altèrent la réponse ;
- l'humidité à laquelle certaines propriétés électriques comme la constante diélectrique ou la résistivité peuvent être sensibles et qui risque de dégrader l'isolation électrique entre composants du capteur ou entre le capteur et son environnement ;
- les champs magnétiques variables ou statiques ; les premiers créent des d'induction qui se superposent au signal utile, les seconds peuvent modifier une propriété électrique, comme la résistivité lorsque le capteur utilise un matériau magnéto-résistant ;
- la tension d'alimentation - amplitude et fréquence - lorsque, comme pour le transformateur différentiel, la grandeur électrique de sortie en dépend de par le principe même du capteur [4].

I.3.Structure d'un capteur

La structure générale d'un capteur est représenté en figure I.2. Dans cette structure on trouve[2].

I.3.1. Le corps d'épreuve

Le corps d'épreuve est un élément sensible qui réagit à la grandeur à mesurer. Il a pour rôle de transformer la grandeur à mesurer en une autre grandeur physique dite mesurable[2].

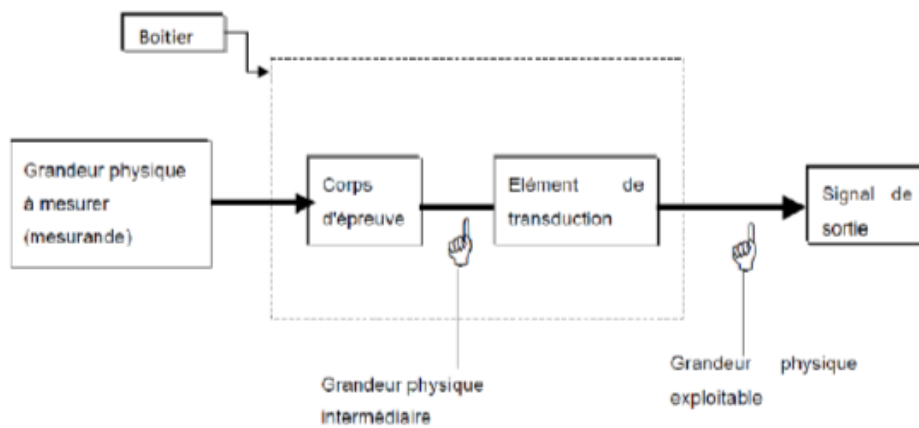


Figure II.2 : structure d'un capteur [2].

I.3.2. Transducteur (le capteur)

Le transducteur est un élément sensible lié au corps d'épreuve. Il traduit les réactions du corps d'épreuve en une grandeur électrique constituant le signal de sortie [2].

I.3.3. Le boîtier

Le boîtier est un élément mécanique de protection, de maintien et de fixation du capteur [2].

I.4.caractéristiques des capteurs

I.4.1. Etalonnage

L'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer, sous forme graphique, la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie [2].

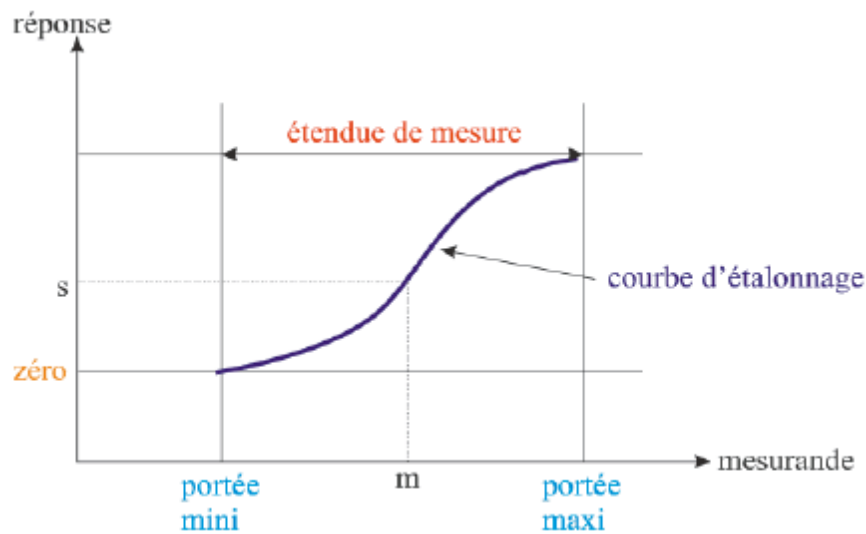


Figure II.3: Etalonnage d'un capteur [3]

I.4.2. Domaine de linéarité

Dans ce domaine de linéarité, la variation de la grandeur de sortie est proportionnelle à la variation du mesurande [2].

I.4.3. Sensibilité (s)

Ce paramètre caractérise l'aptitude du capteur à détecter la plus petite variation de la grandeur à mesurer. C'est une caractéristique importante pour l'exploitation et l'interprétation des mesures. Elle est définie comme étant la variation du signal de sortie (Sout) par rapport à la variation du mesurande (m) (pente de la portion linéaire de la courbe d'étalonnage) et s'écrit :

$$s = \frac{\Delta s_{out}}{\Delta m} \dots\dots\dots \text{I1}$$

Plus un capteur est sensible plus la mesure pourra être précise. C'est une caractéristique importante pour l'exploitation et l'interprétation des mesures[2].

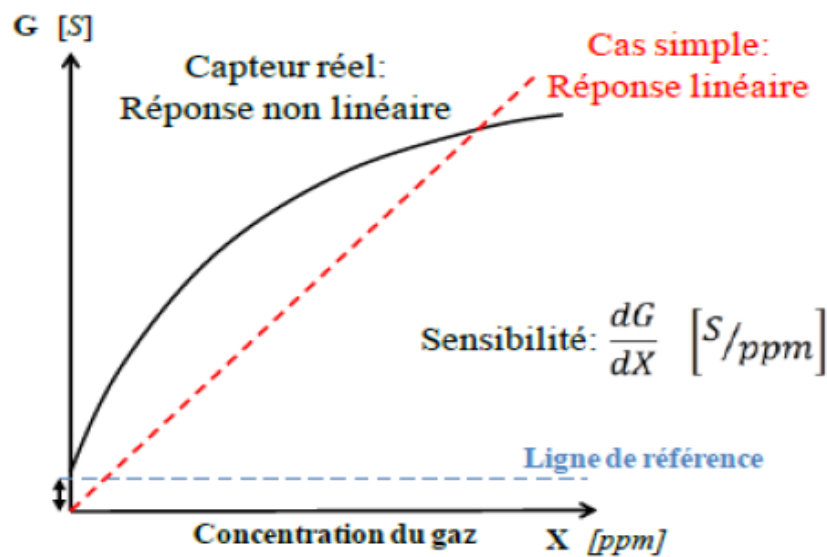


Figure II.4: Réponse non linéaire d'un capteur à semi-conducteur [5].

I.4.4. Temps de réponse ou rapidité

La rapidité est caractérisée par le temps que met le capteur à réagir à une variation brusque du mesurande. Cependant la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique, elle correspond au temps nécessaire pour que le capteur délivre une certaine portion α de la pleine amplitude du signal. Le temps de réponse noté τ_α est tel que α vaut généralement 90%.

La connaissance du temps de réponse d'un capteur est un élément essentiel lors de la réalisation de mesures [2].

I.4.5. Résolution (Précision)

C'est le plus petit incrément de la valeur mesurée qui puisse être significativement mesuré par le capteur [2].

I.4.6. Fidélité

Elle définit la qualité d'un capteur à délivrer des résultats les plus proches possibles lors d'analyses répétées sur une même grandeur physique m . L'erreur de fidélité correspond à la dispersion (écart type) σ des résultats autour de la valeur moyenne $\langle m \rangle$ de n mesures effectuées sur m :

$$\langle m \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \dots\dots\dots I.2$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i - \langle m \rangle)^2}}{n-1} \dots\dots\dots I.3$$

m_i : est la valeur de m à la i ème mesure.

Parmi les écarts de fidélité on distingue : la répétabilité [2].

I.4.7. Répétabilité

La répétabilité correspond à la variation aléatoire des résultats d'une série de mesures successives d'une même grandeur physique m , effectuée dans les mêmes conditions de mesure pendant un court intervalle de temps. Ces conditions sont appelées conditions de répétabilité et elles concernent le même mode opératoire de mesure, même observateur, même équipement de mesure, même lieu de mesure [2].

I.4.8. Sélectivité

Un capteur est dit sélectif, si la variation du signal de sortie est due uniquement à la seule grandeur (physique, chimique, biologique...) qu'on veut mesurer. C'est la capacité du capteur à ne mesurer qu'une seule grandeur dans le milieu où il est utilisé ou en d'autres termes, d'être le plus insensible aux grandeurs d'influence, grandeurs qui ne font pas l'objet de la mesure, mais influent sur la sortie du capteur [2].

I.5. Différents types de capteurs :

Il existe plusieurs classifications des capteurs. La plus répandue se réfère à la nature des mesurandes ou à la transduction, de façon indépendante de l'utilisation [2].

I.5.1. Biocapteurs

Par définition un biocapteur est un système analytique qui exploite la capacité de détection biologique pour une molécule cible, en conjonction avec un transducteur physicochimique qui transforme la reconnaissance biologique en un signal physiquement mesurable. Trois principaux éléments composent un biocapteur : une couche biologique sensible, un transducteur et un signal de sortie. La couche

biologique contient un bio récepteur, qui reconnaît l'espèce biologique souhaitée et qui est immobilisé sur le transducteur. Ce dernier assure la conversion de la réponse biologique en un phénomène physique. Au plus haut niveau, le signal de sortie permet la mesure du phénomène physique élaboré par le transducteur. Ce niveau contient souvent des étapes d'amplification et d'affichage, de manière appropriée et interprétable par l'utilisateur [2].

I.5.2. Capteurs chimique

Les capteurs chimiques sont destinés à la détection et/ou à l'analyse de la concentration d'espèces chimiques ou biochimiques, gazeuses ou liquides en général. L'analyse d'espèces solides, bien que moins évidente, peut cependant être envisagée. Contrairement aux autres types de capteurs, les capteurs chimiques ont connu un succès limité sur le plan commercial, malgré la forte demande de nombreux secteurs de l'économie, tels que les industries chimique, métallurgique, automobile, électronique, agro-alimentaire, l'environnement, le domaine médical, les biotechnologies, etc... . Ce fait est vraisemblablement lié à la difficulté technique de transformer une grandeur telle que la concentration d'une espèce chimique dans un liquide ou un gaz en signal électrique, tout en assurant simultanément reproductibilité, sensibilité et sélectivité.

Un capteur chimique en lui-même est composé de deux parties essentielles : La première concerne la réception. Il s'agit de la partie qui transforme l'information chimique en une forme de signal ou d'énergie mesurable. Cette réception peut être soit physique (ce sont typiquement les capteurs basés sur les mesures d'absorbance, de l'indice de réfraction, de la modification de masse, ...), soit chimique (systèmes où il y a une réaction chimique avec l'échantillon à analyser qui donne naissance à un signal) [5].

La deuxième partie est la transduction. C'est la partie qui concerne la transformation du signal ou de l'énergie obtenue précédemment en un signal exploitable. Les différents principes de la transduction d'un capteur chimique sont très nombreux : optique, électrochimique, électrique, massique, thermoélectrique [5].

I.5.3. Capteurs physiques

Ce sont des dispositifs sensibles à des phénomènes physiques, les mesurandes étant notamment la température, la masse, la force, la vitesse, le débit et de pression (ces dernier seront détaillés dans le paragraphe suivant) etc.....[5].

La sensibilité est assurée par divers phénomènes physique, comme la piézoélectricité l'effet hall, des variations d'impédance, la photosensibilité...etc [5]. Dans ce qui suit nous allons abordés en détail les capteurs de pressions SANS

1.5.4. Les capteurs de pressions

1.5.4.a. Description d'un capteur de pression

La pression, comme chacun sait, constitue une variable essentielle pour l'étude métrologique d'un milieu environnant qui peut-être soit un gaz soit un fluide. La mesure de cette variable est réalisée à l'aide d'un capteur de pression, dispositif capable d'associer à la grandeur mesurée, un signal électrique reconnaissable appelé « réponse » [6]. Un capteur de pression peut donc être représenté par le schéma de la Fig. I.5

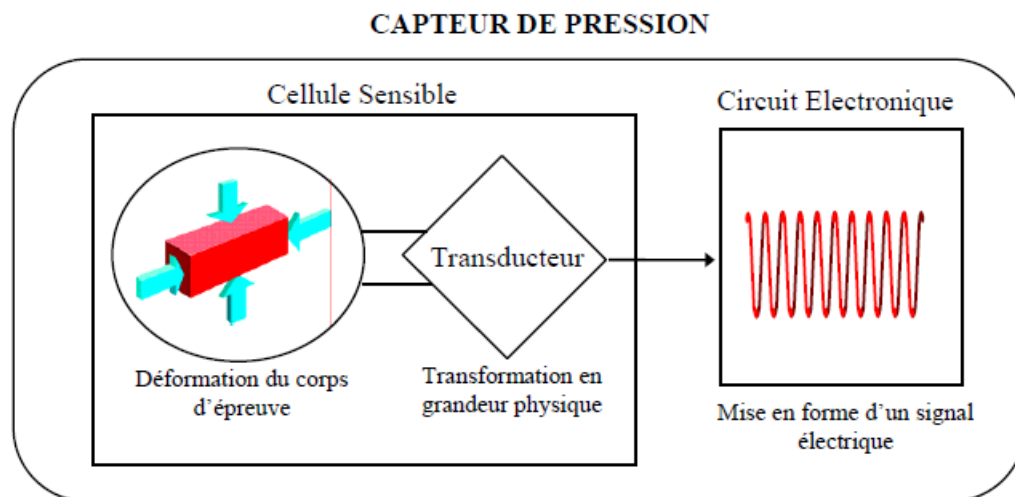


Figure II.5: Schéma synoptique d'un capteur de pression [7].

1.5.4.b. Evolution des principes de détection

La conception d'un capteur de pression passe par des choix techniques et technologiques lesquels sont généralement guidés par l'application même du capteur. Aussi, la diversification des applications a conduit à une évolution des techniques

utilisées [6]. Dans le cas des capteurs de pression, les corps d'épreuves(l'élément mécanique qui, soumis aux variations de la grandeur à mesurer (mesurande), a pour rôle de la transformer en une grandeur physique mesurable), les plus utilisés sont les plaques, les poutres et les membranes dans ce cas la grandeur physique mesurable est généralement une déformation).

A partir des années 70, les nouveaux capteurs sont basés soit sur la déformation d'un substrat, soit sur celle d'une membrane de silicium qui, de nos jours, est le corps d'épreuve le plus répandu [6].

I.5.4.c. Les capteurs de pression existant sur le marché

➤ Avant les années 70

Pour la plupart des capteurs existants sur le marché dans cette période, la partie détection faisait appel à l'électromécanique et utilisait des techniques dont les performances étaient relativement modestes mais acceptables par rapport à l'application qui leur était destinée. Parmi ces techniques on peut citer :

- ✓ le tube de Bourdon,
- ✓ le tube vrillé,
- ✓ le tube borgne,
- ✓ la capsule manométrique,
- ✓ les pistons,
- ✓ les membranes encastrées et les membranes ondulées,
- ✓ ou encore différents soufflets .

Il faut noter que ces techniques sont encore utilisées de nos jours, malgré leur grande taille et leur coût unitaire élevé [7].

➤ A partir des années 70

Suivant les domaines d'applications, des impératifs de taille et de production de masse à faible coût ont induit une évolution de l'électromécanique vers la microélectronique.

Cette filière a apporté des avantages autant techniques qu'économiques en permettant la fabrication collective de dispositifs de détection de petite taille, de bonne stabilité, et ayant la possibilité d'avoir le traitement de signal associé .

Les « nouveaux » capteurs sont donc principalement basés soit sur la déformation d'un substrat (capteurs InAs) soit sur celle d'une membrane de InAsqui, de nos jours, est le corps d'épreuve le plus répandu [7].

➤ **Le transducteur :**

C'est l'élément sensible qui, lié au corps d'épreuve, traduit les réactions de ce dernier en signal électrique. Pour effectuer la mesure de la pression, on a vu qu'il fallait convertir la déformation du corps d'épreuve en une grandeur physique. Il existe plusieurs techniques pour mesurer un déplacement, une déformation ou une force. La plupart des grandeurs de sortie sont d'ailleurs de type électrique [6].

Depuis des années 80, la majeure partie des nouvelles cellules sensibles disponibles sur le marché, est basée sur le principe de détection de type piézorésistif. Cela signifie que la détection de la pression se fait par la mesure d'une variation de résistance. Ces composants sont extrêmement sensibles à la température et nécessitent un circuit de compensation spécifique. C'est pourquoi, des efforts de recherche ont été effectués sur des structures capacitives dont les avantages potentiels sont une grande sensibilité à la pression et une faible sensibilité à la température. Le principe de détection de ces structures capacitives est basée sur la variation d'une capacité [6].

➤ **Le module électronique**

C'est le module de traitement du signal en vue d'une éventuelle exploitation. Comme nous l'avons vu dans la définition d'un capteur, le circuit de traitement sert à mettre en forme un signal électrique transportant l'information donnée par le transducteur. Autrement dit, ce signal doit être l'image de la déformation du corps d'épreuve et par suite, de la pression.

Le capteur est construit pour exploiter une propriété de la matière, décrite par une loi physique, permettant de connaître la correspondance entre la grandeur électrique à la sortie du capteur et la grandeur physique à mesurer. Par exemple, pour mesurer une pression, une loi physique permet de calculer la pression à partir de la mesure de la résistance du capteur.

Le capteur doit avoir les caractéristiques suivantes:

- ✓ Une bonne linéarité.
- ✓ Une grande étendue de mesure.
- ✓ Une très bonne sensibilité au mesurande.
- ✓ Une insensibilité aux grandeurs d'influence [6].

I.5.5 .Les capteurs de pression différentiels :

I.5.5.a. Capteur de pression résistif

La piste résistive est placée sur la partie fixe du capteur et le mouvement mécanique mesurer est accouplé à un curseur qui se déplace sur celle-ci, ainsi la résistance entre un point fixe et la partie mobile du potentiomètre est fonction de la position à mesurer. L'élément sensible est constitué d'un support sur lequel est déposée une piste résistive qui incorpore un liant plastique et du carbone (cas des capteurs a piste résistive) ou un bobinage résistif (cas des capteurs à fil résistif). L'élément sensible ainsi obtenu peut être apporté [8].

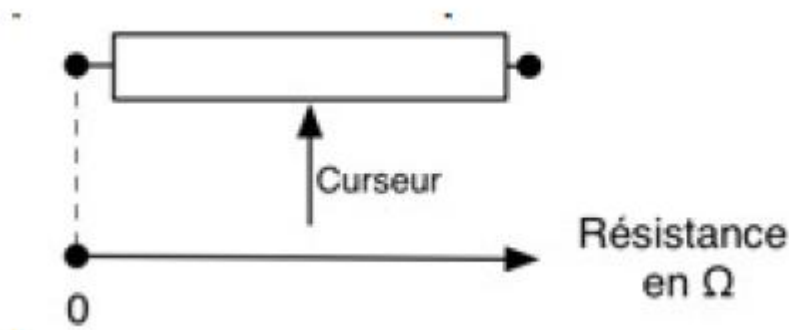


Figure II.6 : capteur résistif [8]

- ✓ Soit à l'intérieur d'une forme cylindrique pour constituer un potentiomètre rotatif.
- ✓ Soit fixé sur un support plat pour réaliser un capteur de déplacement rectiligne.

I.5.5.b. Capteur de pression capacitif

Une solution élégante imaginée par certains constructeurs a été de transformer la déformation de la membrane sous l'effet d'une pression (ou d'une force) en une variation de capacité plutôt qu'une variation de résistance. En effet, il suffit de placer l'une des armatures d'un condensateur sur la membrane qui se déforme et l'autre sur une pièce solidaire du corps d'épreuve, mais non soumise à la déformation, comme le montre le schéma ci-dessous, pour réaliser un condensateur plan dont la capacité est en relation directe avec la pression appliqué [8].

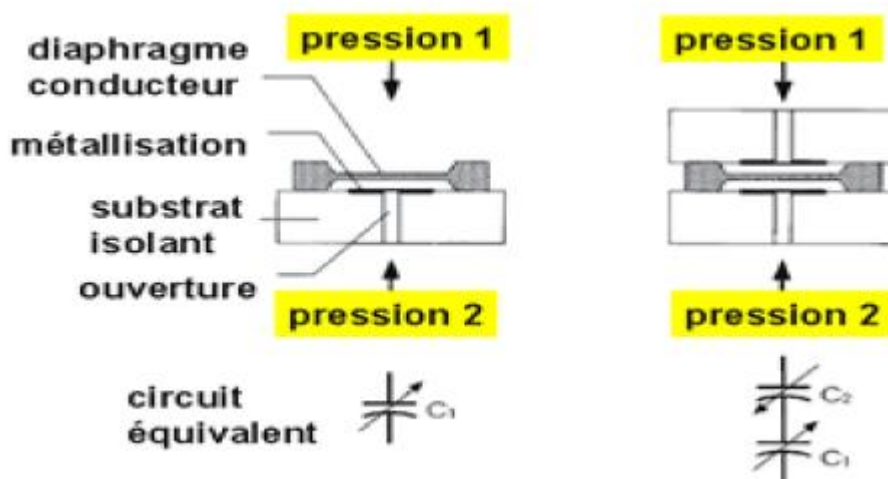


Figure II.7.: capteur capacitif [8]

Il est clair qu'on peut imaginer des géométries d'armatures permettant d'obtenir la meilleure linéarité possible entre variation de capacité et variation de pression, que l'on peut mettre en oeuvre simultanément plusieurs condensateurs et donc faire un montage en pont peu sensible. [8]

I.5.6. Capteur de pression à base de cristaux photoniques - Principe de la détection:

Les cristaux photoniques (PhCs) sont l'un des domaines de recherche les populaires en nano-optoélectronique et photonique de nos jours. Chaque jour, de nouvelles applications des PhCs sont découvertes. Parmi les applications connus on trouve ; les guides d'ondes à cristaux photoniques, les fibres optique à cristaux photoniques, les lasers à faible seuil,...etc.

L'application des PhCs dans le domaine des capteurs est un domaine de recherche d'actualité, en effet les PhCs ont un potentiel de détection très important des paramètres physiques (Température et pression hydrostatique) avec une très haute résolution et sensibilité. Ces microstructures sont de nos jours utilisés pour détecter les gaz, l'humidité, Mesures et détection chimique et biologique [9] et aussi la détection des grandeurs mécaniques et en particulier la pression.

L'effet de la pression hydrostatique sur les paramètres électroniques et optique des matériaux tels que l'écart énergétique et l'indice de réfraction peuvent être considérés comme un bon support pour le phénomène de détection de pression. En effet, en

appliquant une pression au PhC, l'indice de réfraction du matériau, sa géométrie changent et ce changement sera lié étroitement à la juste valeur de la pression mis en cause.

Certain capteur de pression utilisent des guides d'onde à PhC et d'autres utilisent des guides d'onde couplés à une /ou plusieurs nano-cavités. Dans le premier cas, le spectre du guide d'onde se trouve décalé par rapport à sa position d'origine (position du repos du capteur). Dans le second cas, la longueur d'onde de résonance de la nano-cavité elle aussi se décale de sa position de repos d'une distance qui dépend de la pression appliquée [10].

I.6.Exemple de capteur réalises :

La cristaux photonique a envahie tous les domaines de contrôles et de surveillances quand trouve devant nous tous les jours. Dans cette partie nous donnerons des exemples de capteurs de pressions qu'on a recueillis de la vaste littérature du domaine.

I.6.1. Les capteurs de pression à base de cristaux photoniques :

Comme un exemple de capteur de pression à base de cristaux photonique nous allons citons quelques designs.

Dans cet article, les auteurs proposent un capteur de pression nanométrique avec desrésonateurs à nano cavités à cristaux photoniques bidimensionnels. Lorsque la pression est appliquée, la contrainte est répartie sur la structure cristalline et l'indice de réfraction est modifié [11].

I.6.2. Première application :

I.6.2.a- Structure du capteur :

La structure proposée par les auteurs est une structure déconnectée formée de tigesilicium.

Des défauts linéaires sont créés au centre de la structure, par la suppression de tiges comme montré en figure II.8. Pour créer une cavité résonante, ils ont placés une seul tige au milieu du réseau avec un plus grand rayon et aussi à ces alentours des autres tiges de rayonsdifférents. L'excitation lumineuse est appliquée dans une extrémité du premier guide d'onde et les signaux de sorties (les longueurs d'onde de sortie) sont obtenues au niveau du détecteur.

Lorsque la pression est nulle, le déplacement de la longueur d'onde de résonance de la cavité est [11].

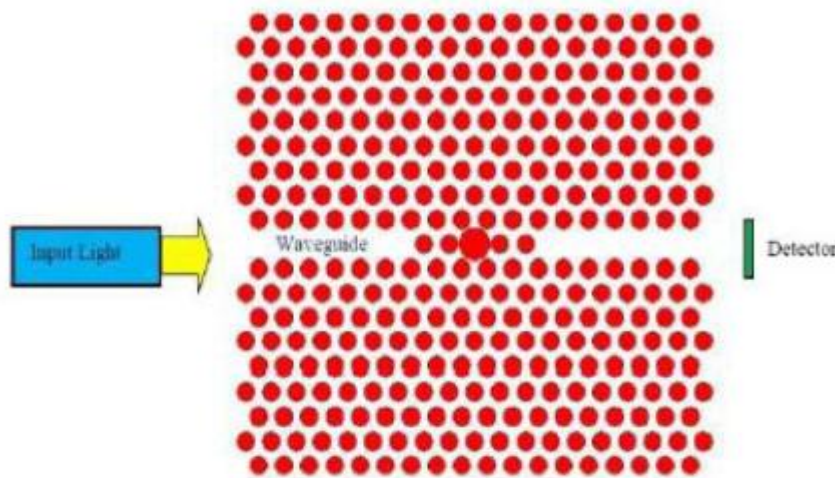


Figure II.8: Structure du premier capteur de pression [11].

I.6.2.b- Résultats

Quand la pression est appliquée sur la cavité résonante, la propagation de la lumière par et l'indice de réfraction changent [11]. La figure ci-dessous montre déplacement du spectre de sortie (de 1nm à 10nm) en fonction de la pression appliquée de. En analysant la courbe de la figure II.9, on constat que la fréquence de coupure correspondante à chaque pression se décale d'une grandeur $\Delta\lambda$ par rapport a l'état de rep

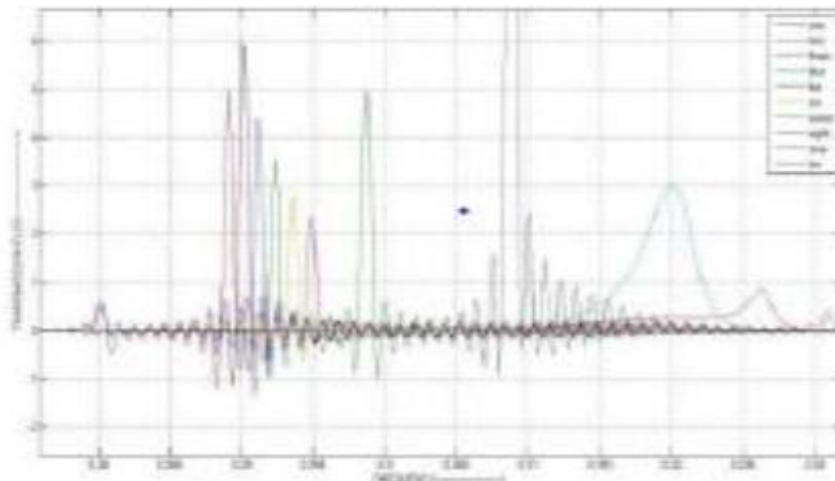


Figure II.9: Déplacement des spectres de sortie (pour 1nm à 10nm) en fonction de la pression appliquée [11]

La figure II.10 montre la dépendance linéaire de la fréquence de résonance en fonction de la pression appliquée.

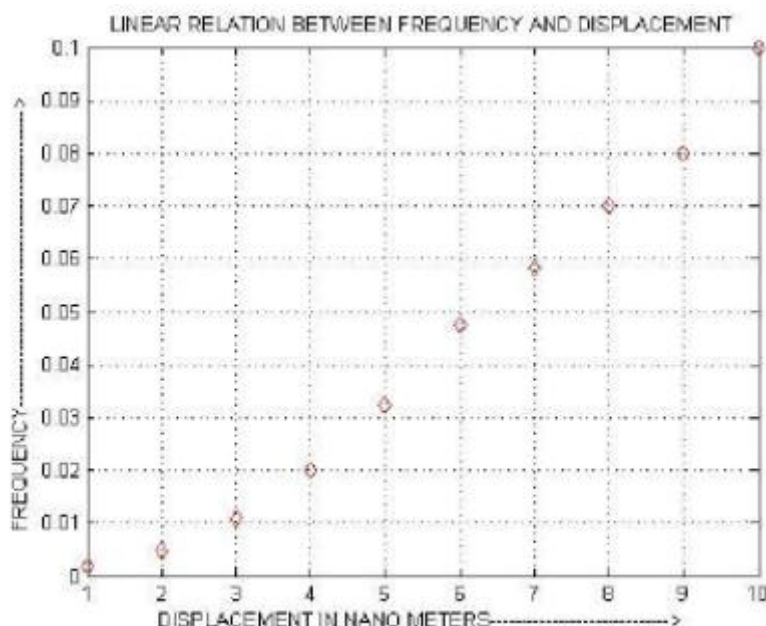


Figure II10: Variation de la fréquence des impulsions de sortie de sortie en fonction de la pression [11]

I.6.3. Deuxième application :

I.6.3.a- Structure du capteur :

Le désigne de Saed OLYAEE and Ali Asghar DEHGHANI . Le guide d'onde peut être réalisé par la suppression d'une rangée de trous d'air ou en éliminant une rangée de tiges diélectriques. L'onde se propage dans le Silicium pour le premier cas et se propage dans l'air pour le second Cas, et par conséquent, la perte peut être ignorée. Sur un substrat en SiO₂ d'indice de réfraction de 1.45 on fait croître des tiges de silicium Si d'indice de réfraction n de 3,5 [12].

Le résonateur conçue par la nano-cavité à cristaux photonique possède un facteur de qualité (Q) élevé et peut être utilisé dans de nombreux applications. Ce facteur de qualité Q de la peut être amélioré en modifiant le nombre de périodes de cristaux entre la nano-cavité et le guide d'onde.

La structure du capteur proposée ici se compose d'un réseau carré de tiges de Si (avec $n_{Si} = 3,5$) entouré par l'air avec ($n_{Air} = 1$). Dans ce réseau de tige, la constante de réseau « a » et le rayon r des tiges sont respectivement considérées de 450 nm et $0,2 \times a$. Cette structure possède un GAP photonique de longueurs d'onde situé entre 1083 nm et 1610 nm. La figure II11.donne la structure finale du capteur.

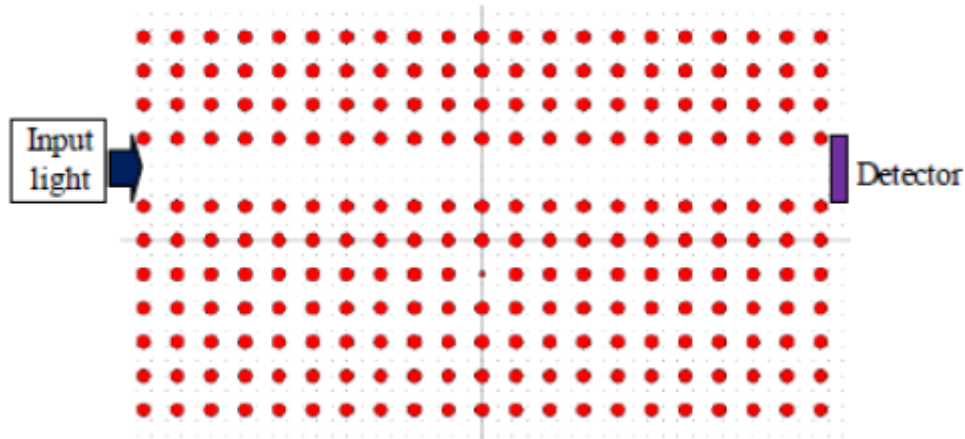


Figure II11: La structure finale du capteur de pression proposée [12]

Ce capteur est conçu pour travailler dans la gamme de l'infrarouge c-à-d pour des longueurs d'ondes situées entre 1300 nm à 1400 nm. L'optimisation de la structure a conduit les auteurs de ce travail à un rayon RC de la nano-cavité de $0,077 \times a$. Finalement, la présence des deux rands de tiges entre le guide d'onde et la nano-cavité a produit un bon facteur de qualité [12].

I.6.3.b- Résultat

En l'absence de pression la nano cavité montre une longueur d'onde résonnante située à $\lambda = 1316$ nm et facteur de qualité correspondant de $Q = 1470$. Pour étudier l'effet de la pression sur la structure, nous avons effectué une étude approfondie. Les simulations ont été réalisées pour différents valeurs des pressions de 0 à 10 GPa par incrément de 1 GPa à chaque étape [12].

Les courbes de la Figure II12, donnent les impulsions de sorties correspondantes à chaque pression. De ces courbes on voit bien que la pression appliquée influe sur l'abscisse de ces impulsions et ces dernières se trouvent décalée d'un $\Delta\lambda$ de valeur dépendante de la pression hydrostatique appliquée [12].

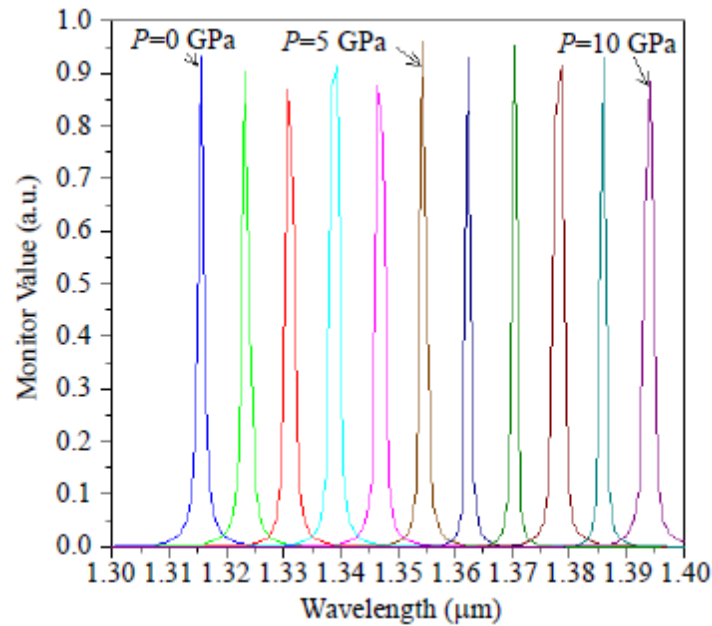


Figure II.12: réponse de capteur pour différentes valeurs de pression [12]

I.6.4. Troisième application :

I.6.4.a- Structure du capteur :

Le désigne de T.ZOUACHE et de A.HOCINI. Le guide d'onde les deux portions de guides d'ondes qu'utilise la structure sont réalisés de la même face que pour le désigne précédent c à dire en éliminant des demi-rangée de trous diélectriques. Sur un substrat en SiO₂ d'indice de réfraction de 1.45 on fait croître un slab de silicium d'indice de réfraction n de 3,5 [13] dans lequel on réalise par la suite des trous d'air d'indice de réfraction n de 1 en forme de réseau hexagonal. La figure I.13, donne la structure finale du capteur. Cette structure est caractérisée par les paramètres suivant :

- Une bande interdite optique pour les longueurs d'ondes situées entre 1.2818 μm et 1.70016 μm
- Un rayon r de 0.3a
- Un rayon de cavité de 0.36a.

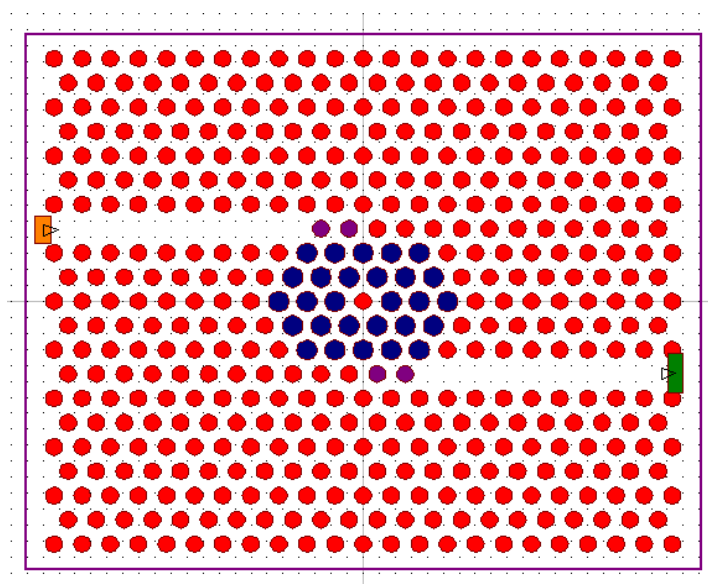


Figure II13 : Structure finale du capteur de pression adoptée[13]

I.6.4.b- Résultat

Cette structure et après sa réalisation et son optimisation, a pu fournir sensibilité RI de **393.7 nm/URI** et un facteur de qualité **Q** de **673.3**, ce qui la rendue un très bon support pour la réalisation d'un capteur à pression. En effet avec ce design, les auteurs de ce travail ont pu réaliser un capteur de pression de sensibilité pouvant atteindre **15.7 nm/GPa**. Cette sensibilité est très importante et en la comparant avec la littérature du domaine, elle a présenté une valeur très compétitif [13].

I .7. Conclusion

L'utilisation des cristaux photoniques pour la réalisation de capteur est le sujet d'actualité des recherches en nano-optoélectronique et photonique. Dans ce chapitre nous avons données différents exemples d'applications des cristaux photoniques dans le domaine des capteurs, entres autres des capteurs chimiques (capteur de gaz), biocapteur et des capteur physique (capteur de pression). Pour toutes les applications que nous avons choisies de la très vaste littérature du domaine, nous avons donnés, leurs structures, leurs principes de détection et/ou de mesure et enfin leurs caractéristiques (sensibilité, transmission, facteur de qualité...).

Bibliographies

- [1] Philippe Meyne, « Généralité sur le capteur », université paris 12 val de marne ,2009.
- [2] Bougriou Frida, « Etude théorique des matériaux a bandes interdites photoniques bidimensionnels : applications dans le domaine du guidage optique et la détection », thèse doctorat, université Constantine 1, 2013.
- [3] Samira Amoudache, « Cristaux photonique accordables ; application au domaine des capteur »,these de doctorat ,université mouloud mammeri de tizi-ouzou,2015
- [4] Georges ASCH et Coll, « Les capteurs en instrumentation industrielle »7^e édition ,Dunod 2010.
- [5] Karoun Farés, «Etude du comportement de la polyanilineexposee aux gaz polluants », Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas , Setif1,2014.
- [6] BendjelloulRahima « Etude du couplage dans les guides d'onde à cristaux Photoniques », mémoire de magister, université mentouriconstantine ,2009.
- [7] Philippe Menini. « Faisabilité d'un capteur de pression capacitif miniature sur silicium», Thèse doctorat de l'université P. Sabatier Toulouse. 1998.
- [8] BabaciSofian ,BerrouaBenzina Mohammed , « Etude et realisation d'un capteur de pression differentielle a inductance variable »,mimoire de Master 2, universiteaboubekrbelkaid , tlemcen 2012.
- [9] S.Olyae and A.AsgharDehghani, « Nano-pressure sensor using high Quality photonic crystal cavity resonator,conferencepaper.july 2012.
- [10] S.Olyae and A. AsgharDehghani, « High Resolution and Wide Dynamic Range Pressure Sensor Based on Two-Dimensional Photonic Crystal. », Photonic Sensors Vol. 2, No. 1, 92–96, 2012.
- [11] Mohankumar, Mrs.I. Bahaddur, « NANOCAVITY BASED OPTICAL PRESSURE SENSOR »,International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056 Volume: 02 Issue: 03, June-2015
- [12] S. Olyae and A. AsgharDehghani, « High Resolution and Wide Dynamic Range Pressure Sensor Based on Two-Dimensional Photonic Crystal »,Photonic Sensors Vol. 2, No. 1, 92–96, 2012

[13] TarekZouache, AbdessalamHocini and AhlamHarhouza . A High Sensitivity Pressure Sensor using Two Dimensional Photonic Crystal Cavity. International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control,8, 1-8, 2018

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Introduction

Après le tour d'horizon que nous avons fait au chapitre précédent sur l'emploi des structures à cristaux photonique dans le domaine des capteurs, dans le présent chapitre nous allons exclusivement étudier le cas des capteurs de pression à base de cristaux photonique. Le matériau de base que nous avons utilisée ici pour la structure que nous avons proposée est l'InAs. Le choix de ce matériau est du à ses bonne caractéristiques optiques. En fin, il est à noter que les simulations effectuée ici ont été réalisé grâce au logiciel professionnel RSoft de Rsoft photonique, ce dernier est un logiciel spécialisé dans le design et la caractérisation des structures à cristaux photonique.

III.2. Structure de base du capteur :

III.2.1. Structure proposé :

Dans la structure que nous avons proposés, nous avons considérés une matrice initiale de trous d'air creusées dans une couche active en InAs (ayant un indice de réfraction de 3.858 [1]) avec une période a de et un rayon de trous r (voire figure III-1-a). Le diagramme de bande interdite de cette structure est représenté en figure III-1-b. De cette figure on constate l'existence de bandes interdite optique pour le mode de propagation TE (Transverse électrique) et aussi pour le mode TM (Transverse magnétique). La bande interdite le plus large est celle correspondante au mode TM, de ce fait c'est elle entre autres qui sera exploité. De la figure III-1-b, on peut aisément voire que le plus grand gap optique est situé entre $1.2368\mu\text{m}$ et $2.1558\mu\text{m}$. le calcul des bandes interdite est réalisé par le module **BandSolve** de l'environnement RSoft.

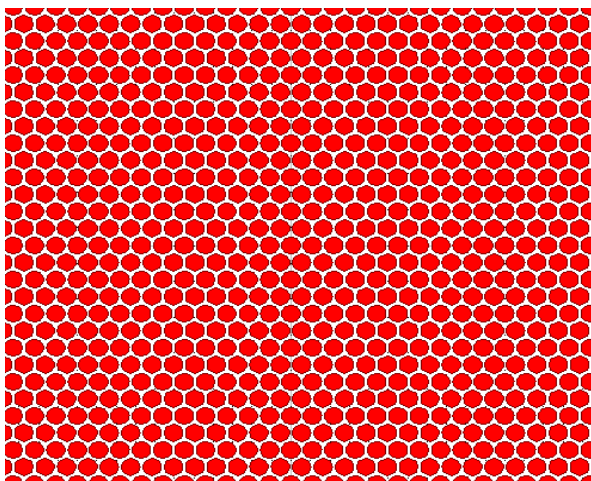


Figure III-1-a : la matrice de trous d'air dans le substrat du silicium proposée

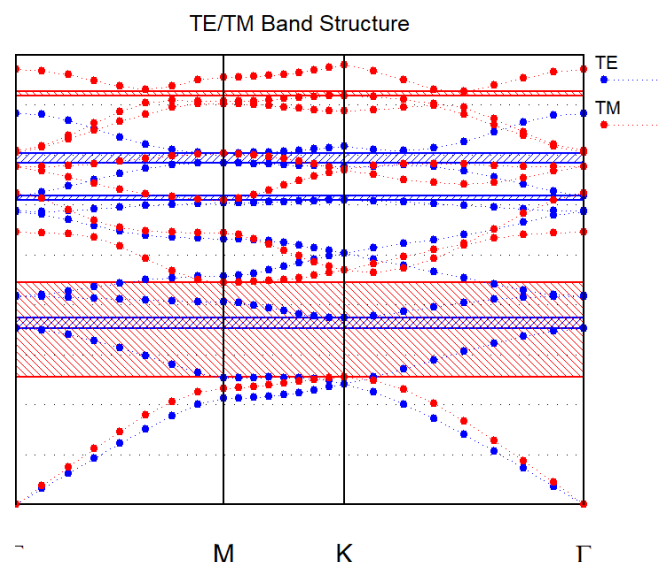


Figure III-1-b : Diagramme de dispersion des bandes interdites du mode TM

Après la définition de la bande interdite de la structure, on doit lui associé une microcavité qui sera l'élément actif du capteur. En effet, dans un premier temps nous avons réalisés un guide d'onde central par l'enlèvement de la ligne centrale de trous, puis nous avons créé une microcavité du type H_0 , comme représentée en figure III-2.

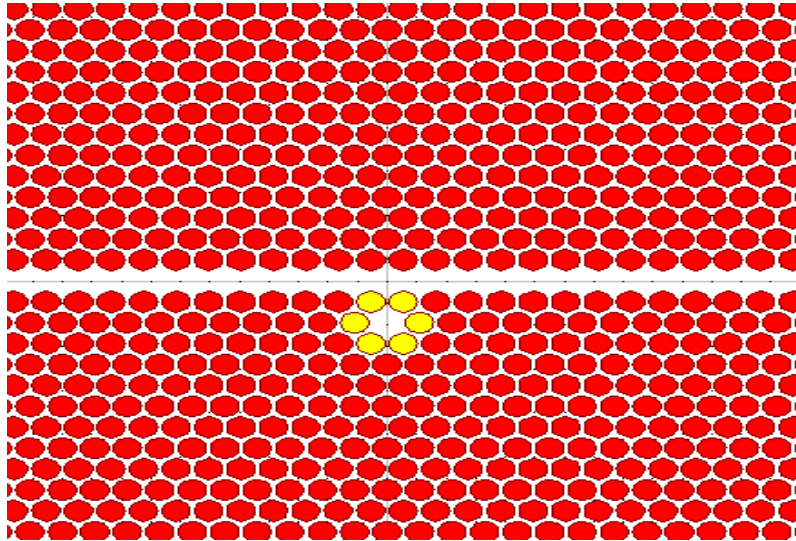


Figure III-2: La structure finale du capteur

III .3. Relation indice de réfraction pression pour l'InAs :

Le comportement optique du InAs quand il est soumis à des pressions hydrostatiques, a été abordés par N.Bouarissa et Amroun [1]. En effet, entre les différents modèles proposés par N.Bouarissa, nous avons choisi d'adopté de model de **Ravidra et Gupta[1]**.

Puis pour définir les valeurs de l'indice de réfraction pour la gamme de pression choisie (entre 0 et 6 GPa), nous avons procédé à l'interpolation polynomiale du second ordre de ce modèle. Grace à cette procédé nous avons tracé la courbe de variation de l'indice de réfraction en fonction de la pression pour la gamme situé entre 0 GPa et 6GPa. Le tableau III-1, regroupe ces valeurs et la figure III-3 donne une représentation graphique de ces valeurs.

P(GPa)	0	1	2	3	4	5	6
n (UIR)	3,86	3,8	3,74	3,67	3,61	3,55	3,49

Tableau III-1 : Indice de réfraction de L'InAs en fonction de la pression.

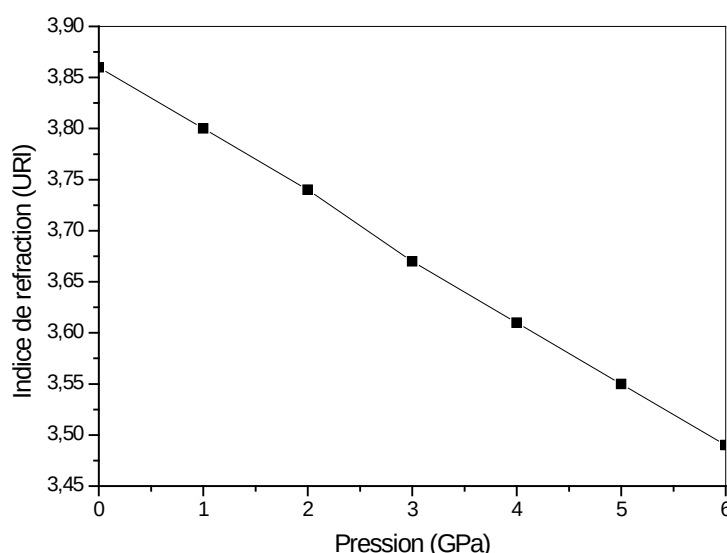


Figure III-3: Indice de réfraction de L'InAs en fonction de la pression

III.4. Etude de la réponse de la structure proposé en fonction de la pression :

Une fois nous avons déniés la façon avec laquelle varie l'indice de réfraction de l'InAs en fonction de la pression, nous allons dans cette session du chapitre calculés et tracé la réponse du capteur quand il est soumis à une pression hydrostatique.

Une pression hydrostatique est caractérisée par son caractère à influencer sur la surface sensible sur laquelle elle appliquée de la même façon dans toutes les directions. Le capteur que nous avons conçus est destiné à mesuré les pressions d'ordre du giga pascal (GPa).

Dans notre travail nous avons considéré un intervalle de pression de 0 à 6GPa conformément au modèle proposé par **Ravidra et Gupta** [1].

Chapitre III: Résultats et discussions

Les réponses du capteur pour les différentes pressions sont données en figure III-4

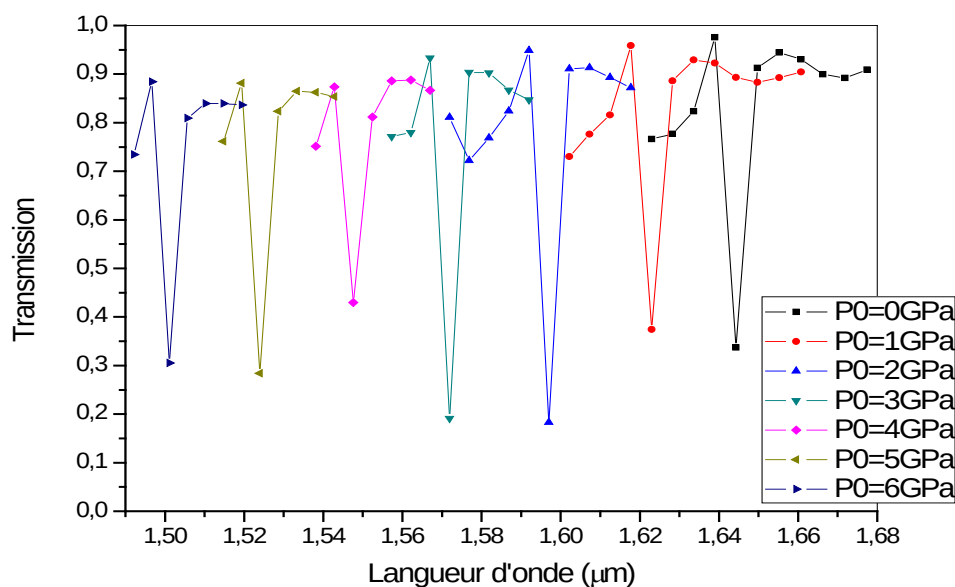


Figure III-4 : Réponse finales du capteur pour des pressions situées entre 0 GPa et 6GPa et le tableau III-2 résume ces résultats.

	0	1	2	3	4	5	6
Indice (UIR)	3,86	3,8	3,74	3,67	3,61	3,55	3,49
$\lambda_{\text{résonance}}(\mu\text{m})$	1,6468	1,6228	1,6	1,5718	1,5478	1,5239	1,5012
Transmis sion	0,33172	0,37441	0,17894	0,16771	0,42833	0,28229	0,30026

Tableau III-2 : Grandeurs caractérisant la réponse du capteur en fonction de la pression

III.4.1. Tracé de la longueur d'onde de résonance correspondante à chaque pression :

A partir du tableau III-2 on trace la variation des longueurs d'onde de résonance en fonction de la pression. La figure III-5 présente cette variation.

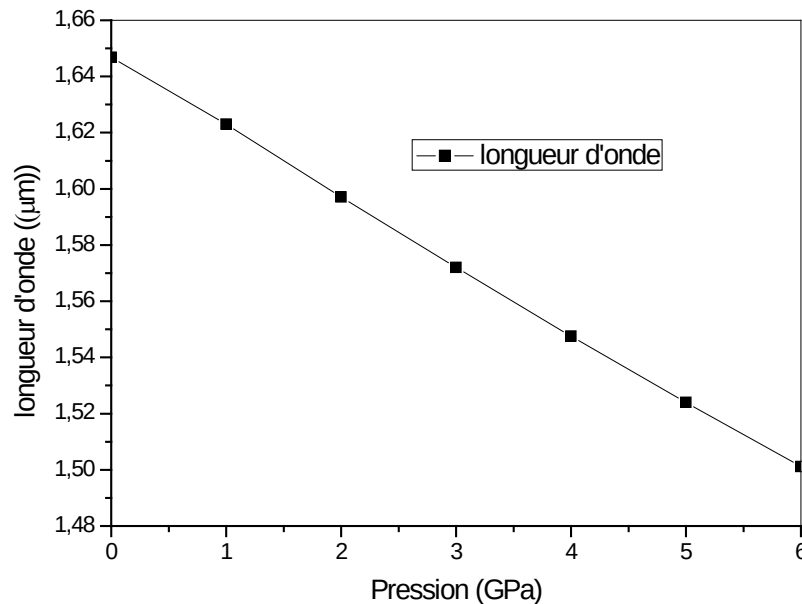


Figure III-5: Longueurs d'onde de résonances correspondantes aux pressions situées entre 0GPa et 6GPa

Cette figure montre que des longueurs d'ondes de résonance du capteur varient quasi linéairement en fonction de la pression hydrostatique appliquée. Cette forme de variation offre un grand atout en ce qui concerne la prédiction du comportement du capteur (par le calcul des longueurs d'ondes de résonance) pour des pressions autres que ceux du tableau III-2.

III.4.2. Calcul des sensibilités du capteur :

La sensibilité peut être définie comme étant le caractère du capteur à détecter et mesuré avec précision les pressions hydrostatiques qui lui sont appliquées. Les mesures sont de plus en plus proches de la réalité, si la sensibilité du capteur est bonne et/ou excellente. D'un autre côté, le comportement quasi-linéaire du capteur engendrera une sensibilité constante, ce qui est très bénéfique du point de vue technologique. On peut dire alors que la sensibilité est un paramètre

décisif quant au design des structures de capteurs. On trouve deux types de sensibilité relative aux structures à cristaux photoniques

❖ La sensibilité à la variation de l'indice de réfraction :

Noté S_{RI} , cette sensibilité exprime le caractère du capteur à modifier la longueur d'onde du flux de lumière entrant à sa sortie (le décalage de la longueur d'onde de résonance) pour chaque changement d'indice de réfraction dans notre cas est conséquence de la pression hydrostatique appliqué au capteur.

Cette sensibilité est calculée à partir de la relation :

$$S_{RI} = 1000 \times \frac{\Delta\lambda}{\Delta n}, \text{ en nm/URI} \dots \dots \dots \text{III-1}$$

De cette expression on conclut que S_{RI} est de plus en plus importante quand le décalage $\Delta\lambda$ sera important pour les faibles changements d'indice de réfractons.

❖ La sensibilité à la variation de pression hydrostatique :

Noté S_P , elle est définie comme étant la capacité du capteur à modifier (à décaler) la longueur d'onde de résonance du flux de lumière entrant à sa sortie suite à l'application d'un seul facteur qui est la pression mécanique. Cette sensibilité est calculée à partir de la relation :

$$S_P = \frac{\Delta\lambda}{\Delta P} \dots \dots \dots \text{III-2}$$

$$S_P = \frac{\Delta\lambda}{\Delta n} \times \frac{\Delta n}{\Delta P}$$

$$S_P = S_{RI} \times \frac{\Delta n}{\Delta P}, \text{ en nm/GPa} \dots \dots \dots \text{III-3 [2]}$$

On peut dire que la sensibilité est d'autant plus élevée que le capteur présente un grand décalage $\Delta\lambda$ pour un léger changement de pression ΔP .

Le tableau III-4, donne les sensibilités S_{RI} et S_P calculés à partir des données du tableau III-3 et des relations données plus haut.

Pression (GPa)	0	1	2	3	4	5	6
Indice (UIR)	3,86	3,8	3,74	3,67	3,61	3,55	3,49
SRI		383.87	417.74	404.84	393.54	380.64	369.35
SP		23.8	25.9	25.1	24.4	23.6	22.9

Tableau III-3 : Sensibilité S_{RI} et S_P calculée pour ce capteur

❖ **Tracé des sensibilités du capteur :**

A partir du tableau III-3, les sensibilités S_{RI} et S_P , les sensibilités à l'indice de réfraction et à la pression sont respectivement tracé sur les figures III-6-a et III-6-b.

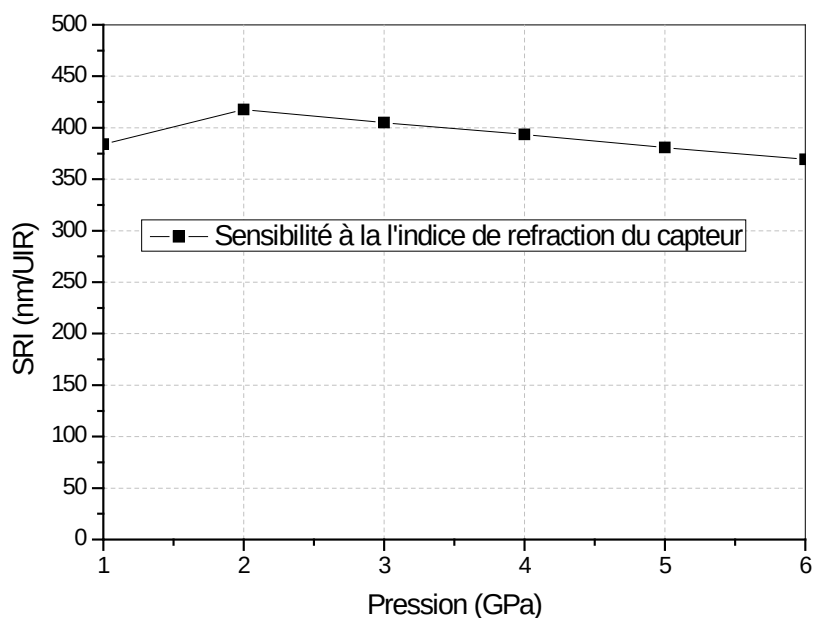


Figure III-6-a : La sensibilité S_{RI} du capteur final tracé pour les pressions considérées.

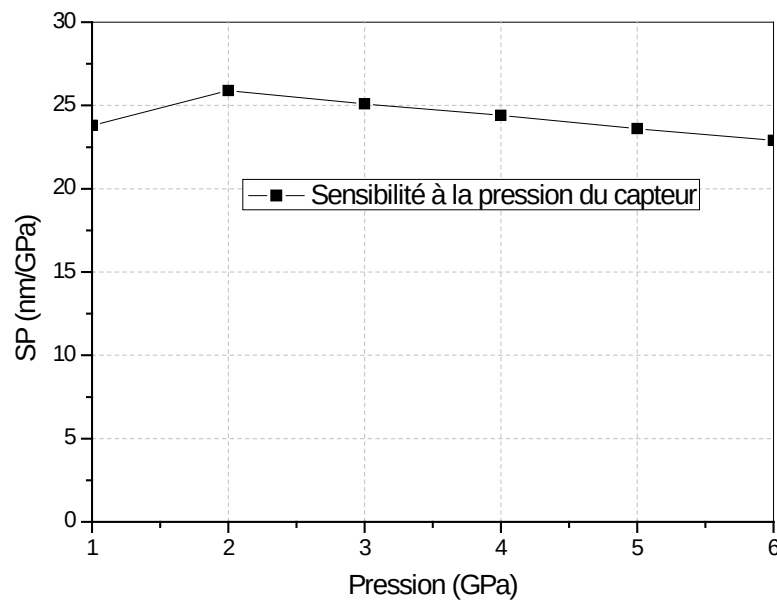


Figure III-6-b: La sensibilité S_p du capteur final tracé pour les pressions considérées.

De cette figure on peut constater aisément que :

- ❖ La sensibilité SRI atteint une valeur maximale de 417,74 nm/URI pour des pressions au voisinage de 2GPa et a une valeur minimale de 369,35 nm/URI pour les pressions voisines de 6GPa. D'un autre coté on peut dire que cette sensibilité est quasiment située entre 369,35 nm/URI et 404,1 nm/URI pour presque l'ensemble de la gamme de pression considéré sauf pour la pression de 2GPa ou elle grimpe vers sa valeur maximale
- ❖ Maintenant pour la sensibilité à la pression, on peut dire que notre design a fourni une haute tres bonne sensibilité qui a atteint **25.9** nm/GPa au voisinage de 2GPa et produit une sensibilité quasi stable (entre 22,9nm/GPa et 25.1nm/GPa) dans la gamme de pression de 0 à 6GPa ce résultats étant très bon et même excellent par comparaison à la sensibilité SP de 15.8nm/GPa obtenu par T.Zouache et A.Hocini [2] grâce au même design mais avec le germanium comme matériau de base.

III-4-3- Calcul du facteur de qualité :

Les valeurs du facteur de qualité de chaque peak du spectre de sorti du capteur sont regroupé dans le tableau III- 4 suivant :

Pression (GPa)	0	1	2	3	4	5	6
Facteur de qualité Q	761.67	760.59	753.83	736.16	711.08	676.7	635.73

Tableau III- 4 : Facteur de qualité du spectre de sortie en fonction de la pression

Ces mêmes résultats sont représentés sur la figure III-7 suivante.

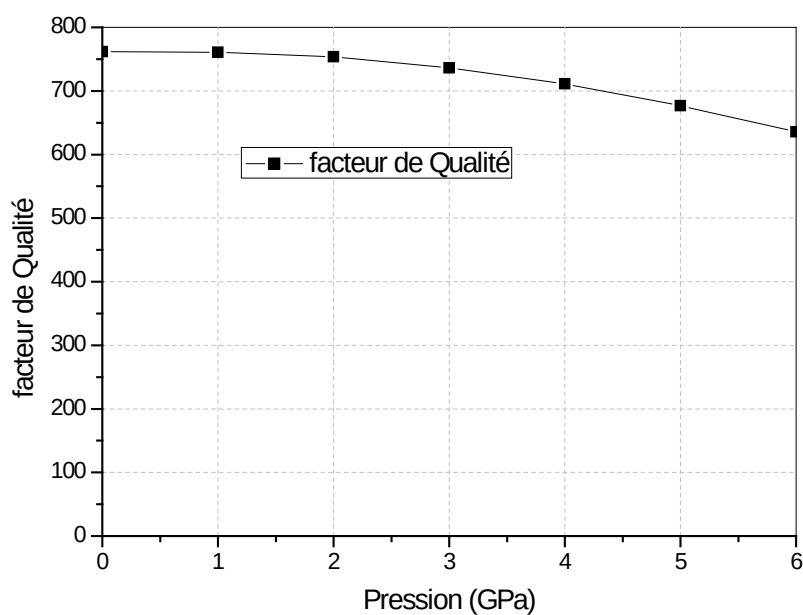


Figure III-7 : facteur de qualité du spectre de sortie en fonction de la pression

Du tableau III-4, on constate que les valeurs du facteur de qualité sont assez bonnes puisqu'elles sont situées entre **761.67** et **635.73**. D'autre par ces valeurs demeurent supérieures à **700** pour les valeurs de la pression inférieure à 4GPa ; ce qui représente de très bon résultats.

III-5- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé une structure de capteur de pression très simple à base de l'InAs. Pour cette structure, nous avons constaté qu'elle a pu faire grimper la sensibilité RI à **454,82 nm/URI**, ce qui la rendue, un très bon support pour la réalisation d'un capteur à pression.

En effet avec ce design, nous avons réalisé un capteur de pression de sensibilité pouvant atteindre **28.2 nm/GPa**. Cette sensibilité est très importante en la comparant avec la littérature du domaine on a constaté qu'elle présente une valeur très compétitif.

Références bibliographiques

- [1] M.S. Al-Assiri, N. Bouarissa, Electronic band structure and derived properties of $\text{AlAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ alloys, *Superlatt. Microstruct.* 59 (2013) 144–154.
- [2] T. Zouache, A. Hocini, A. Harhouz, R. Mokhtari, Design of pressure sensor based on two-dimensional photonic crystal. *Acta Phys. Pol. A* 131 (2017) 68–70

CONCLUSION GÉNÉRALE

IV-Conclusion générale :

Le but que nous avons tracé au début de ce travail été de concevoir un capteur de pression à cristaux photonique à base du semiconducteur InAs doté de bonne performances et caractéristiques. Pour aboutir à ce but, et en premier lieu nous avons parlés dans ce mémoire, des caractéristiques générales des capteurs et en particulier des capteurs de pressions, puis nous abordés la notion de cristaux photoniques ainsi que leurs domaines d'applications dans la détection de différentes grandeurs physiques, chimiques, biologiques...,etc.

En second lieu, nous avons proposé un design que nous avons caractérisé à la suite dans le but de définir ses propres caractéristiques ainsi que son comportement quand il est soumis à l'influence d'une pression hydrostatique.

Les simulations que nous avons effectué sur ce design (grâce au logiciels RSoft) visant à définir ses propriétés importantes et en particulier sa sensibilité, ont montré que :

Ce design fourni une sensibilité à l'indice de réfraction SRI pouvant atteindre une valeur maximale de **417.74** nm/URI pour des pressions hydrostatique, au voisinage de 2 GPa, et d'un autre coté cette sensibilité est pratiquement située entre 369.35 nm/URI et 404.1 nm/URI pour presque l'ensemble de la gamme de pression considéré ; sauf pour la pression de 2GPa ou elle grimpe vers sa valeur maximale

Maintenant pour la sensibilité à la pression, on peut dire d'un côté, que le design que nous proposé a fourni une très bonne sensibilité et qui a pu atteindre la valeur de **25.9** nm/GPa au voisinage de 2GPa. D'un autre côté, la sensibilité obtenue est quasi constante (entre 22,9 nm/GPa et 25.1 nm/GPa) dans la gamme de pression de 0 à 6GPa.

Ces résultats étant très bons et mêmes excellents par comparaison aux sensibilités à la pression (SP) atteinte par la littérature du domaine.

Résumé :

Les cristaux photoniques (CPs) sont des nanostructures de matériaux dans lesquels on a créé une alternance périodique des indices de réfraction. Suivant le type de structuration, on distingue des CPs unidimensionnels, bidimensionnels, et même tridimensionnels.

Par le choix du bon de son matériau de base, de ses caractéristiques constitutionnelles et en fin muni d'une bonne microcavité pour assurer le piégeage de la lumière, une structure à cristaux photonique peut devenir un capteur doté d'excellentes caractéristiques de détection. En effet de nos jours ces nanostructures sont à la base d'une grande variété de capteurs destinés à la détection de presque tous les phénomènes naturels connus. Notre travail entre dans ce cadre.

En effet, le but de notre travail est de concevoir un capteur de pression à cristaux photoniques utilisant le semi-conducteur InAs comme matériaux de base et muni d'une microcavité simple H_1 pour mesurer la pression hydrostatique appliquée à sa surface active.

Mots clés :

Cristaux photoniques 2D, InAs, indice de réfraction, microcavité, sensibilité à l'indice de réfraction, sensibilité à la pression.

Summary:

Photonic crystals (PCs) are nanostructures of materials in which a periodic alternation of refractive indices has been created. Depending on the type of structuring, we distinguish one-dimensional, two-dimensional, and even three-dimensional CPs.

By the right choice of its base material, its constitutional characteristics and finally equipped with a good micro cavity to ensure light trapping, a photonic crystal structure can become a sensor with excellent detection characteristics. Indeed nowadays these nanostructures are the basis of a wide variety of sensors intended for the detection of almost all known natural phenomena. Our work falls within this framework.

Indeed, the aim of our work is to design a photonic crystal pressure sensor using the InAs semiconductor as base materials and equipped with a simple H1 microcavity to measure the hydrostatic pressure applied to its active surface.

Keywords:

2D photonic crystals, InAs, refractive index, micro cavity, refractive index sensitivity, pressure sensitivity.

ملخص:

البلورات الضوئية أجهزة الكمبيوتر هي هياكل ثنائية من المواد التي يتم فيها إنشاء تناوب دوري. أحادية البعد وثنائية الأبعاد (CPs) لمؤشرات الانكسار، اعتمادا على نوع الهيكلية، تتميز من خلال الاختيار الصحيح للمادة الأساسية، وخصائصها الدستورية، ومجهزة أخيرا بتجوييف دقيق جيد لضمان محاصرة الضوء، يمكن ان تصبح البنية البلورية الضوئية مستشعرا بخصائص اكتشاف ممتازة. في الواقع هذه البنى الثنائية في الوقت الحاضر هي أساس مجموعة واسعة من أجهزة الاستشعار المعدة للكشف عن جميع الظواهر الطبيعية المعروفة تقريبا. يدخل عملنا في هذا الإطار في الواقع، الهدف من عملنا هو تصميم مستشعر ضغط بلوري ضوئي باستخدام أشباه النواقل من نوع InAs لقياس الضغط الهيدروستاتيكي المطبق على سطحها النشط والمزود بحساس دقيق و بسيط من نوع H1.

الكلمات الدالة:

بلورات ضوئية ثنائية الأبعاد , InAs , معامل الانكسار، تمستشعر دقيق، حساسية الضغط ,معامل الانكسار،

Summary :

Photonic crystals (PCs) are nanostructures of materials in which a periodic alternation of refractive indices has been created. Depending on the type of structuring, we distinguish one-dimensional, two-dimensional, and even three-dimensional PCs.

By the right choice of its base material, its constitutional characteristics and finally equipped with a good micro cavity to ensure light trapping, a photonic crystal structure can become a sensor with excellent detection characteristics. Indeed now a days these nanostructures are the basis of a wide variety of sensors intended for the detection of almost all known natural phenomena. Our work falls within this framework.

Indeed, the aim of our work is to design a photonic crystal pressure sensor using the InAs semiconductor as base materials and equipped with a simple H1 microcavity to measure the hydrostatic pressure applied to its active surface.

Keywords:

2D photonic crystals, InAs, refractive index, micro cavity, refractive index sensitivity, pressure sensitivity.

ملخص:

البلورات الضوئية أجهزة الكمبيوتر هي هياكل ثنائية من المواد التي يتم فيها إنشاء تناوب دوري. أحادية البعد وثنائية الأبعاد (PCs) لمؤشرات الانكسار، اعتمادا على نوع الهيكل، تتميز من خلال الاختيار الصحيح للمادة الأساسية، وخصائصها الدستورية، ومجهزة أخيرا بتجويف دقيق جيد لضمان محاصرة الضوء، يمكن ان تصبح البنية البلورية الضوئية مستشعرا بخصائص اكتشاف ممتازة. في الواقع هذه البنى الثنائية في الوقت الحاضر هي أساس مجموعة واسعة من أجهزة الاستشعار المعدة للكشف عن جميع الظواهر الطبيعية المعروفة تقريبا. يدخل عملنا في هذا الإطار في الواقع، الهدف من عملنا هو تصميم مستشعر ضغط بلوري ضوئي باستخدام أشباه النواقل من نوع InAs لقياس الضغط الهيدروستاتيكي المطبق على سطحها النشط والمزود بحساس دقيق و بسيط من نوع H1.

الكلمات الدالة:

بلورات ضوئية ثنائية الأبعاد , InAs , معامل الانكسار، تمستشعر دقيق، حساسية الضغط ,معامل الانكسار،