

Résumé de la thèse de Doctorat de Mahmoud Youcef Mahmoud

Intitulé : «Contribution à l'étude en champs proche et lointain de structures à bandes interdites photoniques»

Structurer les matériaux pour maîtriser et façonner les champs optiques à des échelles d'une fraction de longueur d'onde ou même largement sub-longueur d'onde est aujourd'hui un axe de recherche stratégique pour l'optique et l'optoélectronique. Dans ce domaine, les cristaux photoniques entretiennent un formidable espoir pour l'intégration de composants optoélectroniques. Les cristaux photoniques bidimensionnels, obtenus par structuration périodique d'un guide optique planaire ont, en particulier, de nombreuses caractéristiques qui les rapprochent des micro- et nanostructures de l'électronique, requérant notamment une précision d'élaboration couramment estimée inférieure ou égale à la dizaine de nanomètres. Cependant, la compréhension des phénomènes optiques ayant lieu au sein de ces structures sub-longueur d'onde nécessite le recours à la microscopie optique à champ proche pour s'affranchir des problèmes de diffraction. Dans le cadre de ses travaux de thèse, la contribution de l'étudiant Mahmoud Youcef Mahmoud dans ce contexte consiste justement à étudier numériquement l'intensité du champ capté par un PSTM (Photon Scanning Tunneling Microscope) et diffusé par une structure périodique nanométrique à une dimension. La méthode numérique utilisée pour cette étude est la méthode différentielle qui est bien adaptée pour simuler et analyser le champ proche détecté par les SNOM. Cependant cette méthode s'est avérée limitée quand il s'agit de caractériser les phénomènes liés au gap photonique des structures ainsi qu'à l'évolution des modes guidés dans les CPs en fonction de la géométrie et des propriétés optiques de la structure. Le recours à la méthode FDTD (Finite-Difference Time Domain) et la méthode des ondes planes était nécessaire car ces méthodes sont très indiquées pour l'étude et l'analyse des dispositifs à CPs. Ainsi, le travail effectué par l'étudiant a été mené suivant deux approches bien distinctes. Une première approche consiste à exploiter la méthode différentielle et la deuxième approche consiste à entreprendre des calculs numériques en utilisant la méthode FDTD et la méthode des ondes planes destinées à caractériser des dispositifs à CPs.

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique destinée à mieux comprendre le fonctionnement de ce nouveau type de microscopie optique (SNOM) (Scanning Near Field Optical Microscope) en insistant sur les notions de champs lointain et proche optique. Dans le deuxième chapitre l'étudiant a présenté l'art et la manière de réalisation des matériaux à bande interdite photonique en mettant l'accent au préalable sur les notions de propagation d'une onde électromagnétique dans un empilement multi-couche périodique de diélectriques (cristal photonique 1D) connu plus généralement sous le nom de miroir de *Bragg*. Ces notions théoriques ont permis d'expliquer le phénomène l'apparition de bandes interdites photoniques dans les cristaux photonique. Dans le troisième chapitre, les méthodes numériques utilisées pour simuler le comportement des différentes structures étudiées sont exposées. Le formalisme de la méthode différentielle, qui est très adaptée pour simuler l'intensité détecté par les microscopes à champ proche optique est dans un premier temps développé. La méthode des ondes planes repose sur la décomposition du champ électrique et magnétique en ondes planes, et la méthode FDTD repose sur la résolution des équations de *Maxwell* dans un domaine discrétisé spatialement et temporellement. Ces deux dernières méthodes permettent non seulement de rendre compte de l'intensité du champ dans les cristaux photoniques mais également de donner le diagramme de dispersion de la structure. Dans le quatrième chapitre sont exposés les résultats de simulations numériques décrivant le comportement du champ

diffraité par une nanostructure périodique dans les conditions d'illumination du P.S.T.M. et ce, en fonction d'un certain nombre de paramètres relatifs aux propriétés optique et géométrique de l'échantillon. L'effet de la polarisation de l'onde incidente sur l'onde diffusée en champs proche et lointain a également été étudié. Dans le dernier chapitre l'étudiant a présenté une étude sur les cristaux photoniques en s'intéressant aux propriétés de certaines géométries, triangulaire et carré, réalisé sur membrane suspendue. Des résultats en transmission ont permis d'observer des modes guidés qui se propagent sous le cône de lumière et ne peuvent pas se coupler aux modes radiatives. Un très bon accord entre les résultats de la méthode des ondes planes et de la FDTD a été observé. Ces résultats ont permis ainsi, de mieux comprendre le comportement de la lumière dans les cristaux photoniques bidimensionnels. Des cartographies en champ proche optique des structures associées à des modes guidés à l'intérieur du cristal photonique ont été mises en évidence ainsi que des effets de confinement dus à l'existence d'une bande interdite photonique. Un excellent accord avec les prédictions théoriques a été obtenu. Les pertes mesurées sur ce guide ont été limitées relativement en ajustant les paramètres géométriques des structures. L'ensemble de ces résultats obtenus, montre qu'il est possible de guider des photons dans un circuit intégré photonique à base de BIP sur des distances d'au moins quelques centaines de microns.