

Sujet de thèse

Titre : Modélisation numérique avancée de composants photoniques non linéaires

Laboratoire : Institut Fresnel

Encadrants : Hervé Tortel (Professeur), Anne-Laure Fehrembach (Maitre de conférence), Evgueni Popov (Professeur)

Financement envisagé : DGA / AMU - **Nationalité européenne exigée**

Contacts : anne-laure.fehrembach@fresnel.fr ; herve.tortel@fresnel.fr

La thèse proposée vise au développement d'un code numérique performant, basé sur la méthode des éléments finis, pour modéliser des phénomènes d'optique non linéaire dans des composants photoniques 3D fortement résonnants et multi-échelles. L'accent sera mis sur la génération de seconde harmonique, de fréquence somme et différence, dans des composants prometteurs pour réaliser des sources optiques performantes.

Parmi ces composants, les CRIGF, pour Cavity Resonator Integrated Grating Filters nous intéressent en particulier [1,2]. Ils sont formés par un réseau coupleur sub-longueur d'onde de quelques dizaines de périodes placé entre deux réseaux de Bragg de plusieurs centaines de périodes, gravés sur un empilement de couches minces de matériaux diélectriques servant de guide d'onde. Les CRIGF ont la capacité de générer un champ électromagnétique fort et concentré sur une dizaine de longueurs d'onde. Nous exploitons actuellement cette propriété dans un projet financé par l'ANR et la DGA (projet RESON 2020-2023) pour exalter des effets d'optique non linéaire d'ordre 2, en particulier la génération de seconde harmonique [3]. L'application principale visée à moyen terme est la création de sources optiques performantes et compactes dans des domaines de longueur d'onde où les solutions technologiques sont rares. Cependant, de par leur aspect multi-échelle et leur caractère fortement résonnant, les CRIGF sont difficiles à modéliser numériquement, même pour le cas 2D (invariance du composant dans une direction). Le cas 3D est un véritable challenge. Nous disposons actuellement de 3 méthodes numériques développées à l'Institut Fresnel (Méthode des éléments finis - FEM, Méthode des dipôles couplés – DDA, Méthode Modale de Fourier - FMM) pour modéliser des CRIGF 2D. Pour traiter le cas 3D, nous souhaitons développer un code FEM 3D, en particulier en recourant à des fonctions de base d'ordre élevé (nécessaire à cause du caractère fortement résonnant) et à des techniques de décomposition de domaine (pour traiter l'aspect multi-échelle).

Le déroulement de la thèse s'articulera autour de trois parties, entrelacées dans le temps.

La première partie, essentiellement en début de thèse, sera consacrée à la formation du doctorant, selon deux aspects : modélisation numérique, méthode des éléments finis d'une part, et optique non linéaire, structures photoniques résonnantes d'autre part.

La seconde partie sera consacrée au développement d'un logiciel 3D en éléments finis. Sur la base d'un code source déjà existant développé dans notre laboratoire, le doctorant concentrera ses travaux sur la mise en œuvre de nouvelles fonctionnalités telles que :

- L'utilisation de fonctions de base d'ordre élevé dédiées à la diffusion d'objets 3D.

- L'extension au cas 3D des techniques de décomposition de domaines (méthode FETI [5]), et son application aux matériaux anisotropes.

- Tous les développements numériques seront considérés dans un environnement parallèle. Pour ce travail, le doctorant bénéficiera de l'expertise de l'Institut Fresnel en matière de modélisation numérique, que ce soit sur l'aspect méthode des éléments finis [5], modélisation des CRIGF [4] ou des effets d'optique non linéaire [3,6]. De plus, dans le cadre du projet RESON, notre objectif est de développer en parallèle un autre logiciel basé sur la méthode DDA pour la modélisation de la génération de seconde harmonique dans les CRIGF 3D. Bien que moins versatile, ce code DDA pourra permettre de valider le code FEM par comparaison. Enfin, dans la troisième partie, l'étude de la génération de seconde harmonique dans les CRIGF 3D sera possible. Elle permettra d'identifier les configurations CRIGF 3D les plus prometteuses, en estimant quantitativement leur efficacité de génération de seconde harmonique. Au final, nous pourrions conclure sur les apports de la structuration 3D par rapport à une structuration 2D, en terme d'efficacité non linéaire, de compacité de la structure, d'indépendance à la polarisation du composant...

Pour ces études, nous porterons une attention particulière à la compatibilité des configurations avec les contraintes et incertitudes de fabrication. Pour cela, le travail du doctorant bénéficiera du cadre du projet RESON, en particulier de la collaboration avec les expérimentateurs du LAAS-CNRS (Toulouse) impliqués dans le projet. Ainsi, des composants pourront être fabriqués et caractérisés au LAAS-CNRS, apportant un moyen de validation supplémentaire du code numérique.

Références

- [1] *Mid-infrared cavity resonator integrated grating filters*, S. Augé, S. Gluchko, A. -L. Fehrembach, E. Popov, A. Thomas, S. Pelloquin, A. Arnoult, A. Monmayrant, O. Gauthier-Lafaye, *Opt.Expr.* **26** (21), 27014-27020 (2018)
- [2] *Extended cavity quantum cascade laser with cavity resonator integrated grating filter*, S. Augé, S. Gluchko, A.-L. Fehrembach, E. Popov, T. Antoni, S. Pelloquin, A. Arnoult, G. Maison, A. Monmayrant, O. Gauthier-Lafaye, *Opt. Expr.* **28** (4), 4801 (2020)
- [3] *Second-harmonic-generation enhancement in cavity resonator integrated grating filters*, F. Renaud, A. Monmayrant, S. Calvez, O. Gauthier-Lafaye, A.-L. Fehrembach, E. Popov, *Opt. Lett.* **44** (21), 5198-5201 (2019)
- [4] *Electromagnetic modelling of large subwavelength-patterned highly resonant structures*, Chaumet, Patrick and Demesy, Guillaume and Gauthier-Lafaye, Olivier and Sentenac, Anne and Popov, Evgeny and Fehrembach, Anne-Laure, *Opt. Lett.* **41**, 2358-2361 (2016).
- [5] *3-D Electromagnetic Scattering Computation in Free-Space With the FETI-FDP2 Method*, Ivan Voznyuk, Hervé Tortel, and Amelie Litman., *IEEE Trans. Ant. Prop.*, **63**(6), 2015. 10, 29
- [6] *Electromagnetic resonances in nonlinear optics*, M. Nevière, E. Popov, R. Reinisch, G. Vivrant, CRC Press 2000