

Proposal for a Master thesis

Title : Advanced numerical modelling of nonlinear photonic devices

Laboratory : Institut Fresnel, Marseille

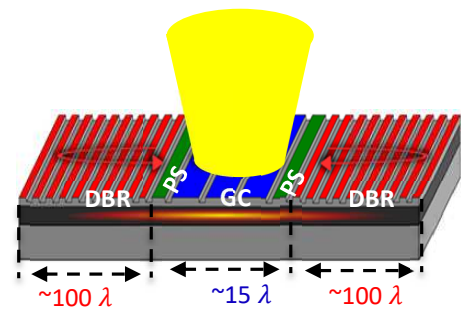
Supervisors : Hervé Tortel (Professor), Anne-Laure Fehrembach (Assistant professor)

Funding : ANR/DGA project

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

The proposed internship is part of the development of a powerful numerical code, based on the finite element method (FEM), to model nonlinear optical phenomena in highly resonant and multi-scale 3D photonic components.

We are particularly interested in the modelling of promising components, called CRIGF, for Cavity Resonator Integrated Grating Filters [1,2] (see figure). CRIGFs have the ability to generate a strong electromagnetic field concentrated on a few tens of wavelengths. We are currently exploiting this property in a project funded by the ANR and the DGA (RESON project) to exalt second order nonlinear effects, in particular second harmonic generation [3]. The main medium term application is the creation of efficient and compact optical sources in wavelength domains where technological solutions are rare.



However, due to their multiscale aspect and their strongly resonant character, CRIGFs are difficult to model numerically, even for the 2D case (invariance of the component in one direction) [4]. To deal with the 3D case, a real challenge, we wish to develop a 3D FEM code, incorporating high order basis functions (necessary because of the strongly resonant character) and domain decomposition techniques (to deal with the multi-scale aspect) [5].

The internship is intended to realize the first step of this development: incorporating into the existing 3D FEM code high-order basis functions dedicated to the diffusion of 3D objects. For this work, the intern will benefit from the expertise of Institut Fresnel in numerical modelling, and the possibility to validate the developed FEM code with another method already available in the laboratory, but less versatile. We are looking for a candidate interested in numerical modelling of physical phenomena.

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

Sujet de stage de M2

Titre : Modélisation numérique avancée de composants photoniques non linéaires

Laboratoire : Institut Fresnel, Marseille

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

Financement : projet ANR/DGA

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

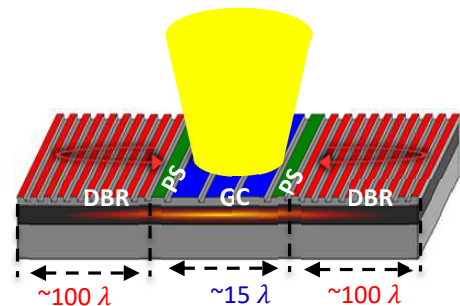
Le stage proposé s'inscrit dans le cadre du développement d'un code numérique performant, basé sur la méthode des éléments finis (FEM), pour modéliser des phénomènes d'optique non linéaire dans des composants photoniques 3D fortement résonnants et multi-échelles.

Nous sommes en particulier intéressés par la modélisation de composants prometteurs, appelés CRIGF, pour Cavity Resonator Integrated Grating Filters [1,2] (voir figure). Les CRIGF ont la capacité de générer un champ électromagnétique fort et concentré sur quelques dizaines de longueurs

d'onde λ . Nous exploitons actuellement cette propriété dans un projet financé par l'ANR et la DGA (projet RESON) pour exalter des effets non linéaires 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) [4]. Pour traiter le cas 3D, véritable challenge, nous souhaitons développer un code FEM 3D, incorporant des fonctions de base d'ordre élevé (nécessaires à cause du caractère fortement résonnant) et des techniques de décomposition de domaine (pour traiter l'aspect multi-échelle) [5].

Le stage est destiné à réaliser la première étape de ce développement : incorporer au code FEM 3D existant des fonctions de base d'ordre élevé dédiées à la diffusion d'objets 3D. Pour ce travail, le stagiaire bénéficiera de l'expertise de l'Institut Fresnel en matière de modélisation numérique, et la possibilité de valider le code FEM développé avec une autre méthode déjà disponible au laboratoire, mais moins versatile. Nous recherchons un candidat intéressé par la modélisation numérique de phénomènes physiques.



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