

**Discipline**

Engineering Sciences, Physics

**Doctoral School**

422 - Sciences and Technologies for Information,  
Telecommunications and Systems

**Thesis subject title**

Magneto-plasmonic nanostructures for non-reciprocal transmission waveguide

- **Laboratory name** Institut d'Electronique Fondamentale – Orsay, France
- **Laboratory web site** <http://www.ief.u-psud.fr/>
  
- **PhD supervisor (contact person)**
  - **Name** Navy YAM
  - **Position** Associate Professor
  - **Email** vy.yam@u-psud.fr
  - **Phone number** +33 1 69 15 78 39

**1) Sujet de thèse en français**

**Métamatériaux magnéto-plasmoniques pour transmissions non-réciproques**

Alors qu'un très grand nombre de fonctions optiques peut déjà être inséré dans des circuits semi-conducteurs actifs ou passifs, notamment pour les télécoms, la fonction d'isolation optique (ou de transmission optique non-réciproque) n'existe toujours pas sous forme intégrable. Le développement d'une structure optique guidée avec des fonctionnalités non-réciproques requiert la présence de matériaux dits magnéto-optiques (MO). La présence d'un champ magnétique fixe brise la symétrie de renversement de temps dans les équations de Maxwell et induit donc des effets non-réciproques. Les matériaux les plus utilisés dans la gamme spectrale des télécoms optiques (1,3-1,55 $\mu$ m) sont les grenats de fer à base de terres rares comme l'Yttrium, le Bismuth ou le Cerium. Ils ont l'avantage de combiner des effets MO assez importants avec une quasi-transparence dans le proche infra-rouge. Dans des configurations de guidage optique « classique » (type ridge), les effets MO de grenats restent néanmoins trop faibles pour pouvoir envisager des circuits non-réciproques miniaturisés.

La nanostructuration périodique des matériaux MO en cristal photonique est logiquement une des voies explorées pour augmenter la non-réciprocité optique des grenats. Les effets de décélération de la lumière à cause des interférences dans le cristal photonique augmentent le temps d'interaction avec le matériau et mènent ainsi à des effets non-réciproques exaltés.

Une autre solution originale et novatrice, et complémentaire consiste à augmenter l'interaction magnéto-optique en exploitant la forte concentration de la lumière lorsqu'elle est guidée par une interface métallique. Ces effets magnéto-plasmoniques conduisent à l'exaltation des effets magnéto-

optiques en espace libre.

Cette thèse consistera à contribuer à une meilleure compréhension de la physique de la magnéto-plasmonique en développant des modèles théoriques et des outils numériques permettant de simuler la réponse électromagnétique des nanostructures magnéto-plasmoniques. Un des buts principaux de cette étude théorique sera d'étudier par modélisation la possibilité d'obtenir une exaltation de la non-réciprocité par des effets magnéto-plasmoniques dans une structure d'optique guidée.

Le candidat vérifiera ensuite expérimentalement les nouveaux concepts qu'il aura développés. La fabrication de prototypes reposera notamment sur l'expertise développée au sein de la centrale de nanotechnologie à l'IEF (CTU-MINERVE) en nanostructuration de films minces de métaux nobles sur une grande variété de substrats. La caractérisation expérimentale des nouveaux concepts magnétoplasmoniques se fera aussi bien sur un banc de diffraction magnéto-optique (pour les composants en espace libre) que sur un banc de magnéto-optique guidée et fibrée (pour les structures intégrées) présents à l'IEF.

Le candidat présentera de bonnes connaissances en électromagnétisme et en physique des composants opto-electroniques. Le candidat aura un goût particulier pour le travail expérimental et pour l'analyse théorique.

## 2) Résumé en français

L'utilisation de la transmission non-réciproque dans les systèmes optiques peut considérablement enrichir les possibilités d'architectures dans les circuits photoniques intégrés, principalement grâce aux fonctions d'isolateur. La réalisation d'une fonctionnalité non-réciproque nécessite la présence de matériaux magnéto-optiques (MO). Une solution originale et innovante est d'exalter cette interaction MO en exploitant la forte concentration de la lumière quand elle est guidée par une interface métallique. Des structures de guides d'ondes basées sur des effets de plasmons localisés ou d'inversion de signe de transmission peuvent être combinés pour développer des isolateurs efficaces avec un taux "isolement/pertes" compatible avec des applications pour les télécommunications ou les biocapteurs.

Le but de cette thèse est d'identifier les différents effets magnéto-plasmoniques, de comprendre leurs mécanismes, puis de les exploiter pour la conception de dispositifs non-réciproques.

## 3) Résumé en anglais

Use of non-reciprocal transmission in optical systems could considerably enrich possible architectures of integrated photonic circuits, mainly thanks to optical isolator or circulator functions. The development of non-reciprocal functionality requires the presence of magneto-optical (MO) materials. An original and innovative solution is to further increase the MO interaction by exploiting the high concentration of light when it is guided by a metallic interface. New structures like short localized plasmon waveguides or non-reciprocal transmission sign inversion can be combined to develop particularly efficient isolator with an "isolation ratio/losses" compatible with applications in telecom or biosensor domains.

The purpose of this thesis is to identify disruptive magneto-plasmonic effects, to understand their mechanisms and to identify how to exploit and implement these effects for future non-reciprocal devices.

### ▪ Publications of the laboratory in the field (max 5)

1. L. Halagačka, M. Vanwolleghem, K. Postava, B. Dagens, J. Pištora, *Coupled mode enhanced giant magnetoplasmonics transverse Kerr effect*, Opt. Express 21, pp. 21741-21755 (2013)
2. M. Février, P. Gogol, G. Barbillon, A. Aassime, R. Mégy, B. Bartenlian, J. -M. Lourtioz, and B. Dagens, *Integration of short gold nanoparticles chain on SOI waveguide toward compact integrated bio-sensors*, Optics Express Vol. 20, Iss. 16, pp. 17402–17409 (2012)
3. M. Février, P. Gogol, A. Aassime, R. Mégy, C. Delacour, A. Chelnokov, A. Apuzzo, S. Blaize, J.-M. Lourtioz, and B. Dagens, *Giant Coupling Effect between Metal Nanoparticle Chain and Optical Waveguide*, Nano Letters 12 (2), pp 1032–1037 (2012)
4. L. Magdenko, E. Popova, M. Vanwolleghem, C. Pang, F. Fortuna, T. Maroutian, P. Beauvillain, N. Keller, B. Dagens, *Wafer-scale fabrication of magneto-photonic structures in Bismuth Iron Garnet thin film*, Microelectronics Engineering 87, pp. 2437-2442 (2010)
5. M. Février, P. Gogol, V. Yam, R. Megy, B. Dagens, *Bloch mode spatial harmonic decomposition in integrated localized surface plasmon chain*, Proc. SPIE 8988, Integrated Optics: Devices, Materials, and Technologies XVIII, 89880T (2014); doi: 10.1117/12.2037720

## 6. Specific requirements to apply, if any

.....