

CONTRÔLE ÉLECTRIQUE DE LA POLARISATION CIRCULAIRE DANS UN LASER À CAVITÉ EXTERNE VERTICALE À SPIN ET ÉMISSION PAR LA SURFACE

ELECTRICAL CONTROL OF CIRCULAR POLARIZATION IN SPIN VERTICAL EXTERNAL CAVITY SURFACE EMITTING LASER

Etablissement **Université de Lorraine**

École doctorale **C2MP - CHIMIE MECANIQUE MATERIAUX PHYSIQUE**

Spécialité **Physique**

Unité de recherche **IJL - INSTITUT JEAN LAMOUR**

Encadrement de la thèse **Yuan LU**

Financement du 01-10-2025 au 30-09-2028 origine **Lorraine Université d'Excellence Employeur UNIVERSITE DE LORRAINE**

Début de la thèse le **1 octobre 2025**

Date limite de candidature (à 23h59) **12 mai 2025**

Mots clés - Keywords

laser à spin, polarisation circulaire, laser à émission par surface à cavité externe verticale, spin-optoélectronique
spin laser, circular polarization, vertical external cavity surface emitting laser, spin-optoelectronics

Description de la problématique de recherche - Project description

Les lasers à cavité externe verticale à spin (spin-VECSELs) révèlent des avantages sans précédent de la spintronique pour des applications au-delà de la magnétorésistance et ont le potentiel de constituer une nouvelle génération de systèmes de communication optique. Jusqu'à présent, la polarisation circulaire est contrôlée en inversant la magnétisation avec un champ magnétique externe. Pour les applications futures, il est essentiel de se débarrasser de tout champ magnétique externe. Une solution possible pourrait être de commuter électriquement la magnétisation via l'effet de couple spin-orbite (SOT). Cependant, le contrôle de la polarisation circulaire en modulant électriquement la direction de l'injection de spin reste un défi. L'objectif de cette thèse de doctorat est d'étudier le contrôle électrique de l'injection de spin dans un spin-VECSEL en utilisant de nouveaux types d'injecteurs de spin présentant des effets SOT.

Spin vertical external cavity surface emitting lasers (spin-VECSELs) reveal unprecedented advantages of spintronics for applications beyond magnetoresistance and have the potential to form a new generation of optical communication systems. Till now, the circular polarization is controlled by switching the magnetization with an external magnetic field. For future applications, it is essential to get rid of any external magnetic field. A possible solution could be to switch electrically the magnetization via the spin-orbit torque (SOT) effect. However, the control of the circular polarization by modulating electrically the spin-injection direction remains still a challenging issue. The goal of this PhD thesis is to study the electrical control of spin injection in a spin-VECSEL by using new types of spin-injectors exhibiting SOT effects.

Thématique / Contexte

Spin vertical external cavity surface emitting lasers (spin-VECSELs) reveal unprecedented advantages of spintronics for applications beyond magnetoresistance and have the potential to form a new generation of optical communication systems. Till now, the circular polarization is controlled by switching the magnetization thanks to an external magnetic field. For future applications, it is essential to get rid of any external magnetic field. A possible solution could be to switch electrically the magnetization via the spin-orbit torque (SOT) effect. However, the control of the circular polarization by modulating electrically the spin-injection direction remains still a challenging issue.

Objectifs

The goal of this PhD thesis is to study the electrical control of spin injection in a spin-VECSEL by using new types of spin-injectors exhibiting SOT effects. This PhD program will closely collaborate group of Nils Gerhardt in Ruhr University Bochum, who is expert for spin laser characterization. The PhD program not only allows realizing the electrical control of spin injection in the spin-VECSEL, but also improve the understanding of the physics related to spin-orbit torque, spin-injection and spin dynamics in spin laser.

Méthode

The main tasks of the PhD student will be as below:

- 1) Growth of a perpendicularly magnetized spin injector structure on a GaAs based $\frac{1}{2}$ VCSEL;
- 2) Device fabrication and demonstration of the electrical switching of the injector magnetization;
- 3) Polarization resolved electroluminescence characterization of SOT spin-VECSEL.

Références bibliographiques

- [1] M. Lindemann, G. Xu, T. Pusch, R. Michalzik, M. R. Hofmann, I. Žutić & N. C. Gerhardt, 'Ultrafast spin-lasers', Nature 568, 212-215 (2019).
- [2] P. A. Dainone, N. F. Prestes, P. Renucci, A. Bouché, M. Morassi, X. Devaux, M. Lindemann, J.-M. George, H. Jaffrès, A. Lemaitre, B. Xu, M. Stoffel, T. Chen, L. Lombez, D. Lagarde, G. Cong, T. Ma, P. Pigeat, M. Vergnat, H. Rinnert, X. Marie, X. Han, S. Mangin, J.-C. Rojas-Sanchez, J.-P. Wang, M. C. Beard, N. C. Gerhardt, I. Žutić & Y. Lu, "Controlling the helicity of light by electrical magnetization switching", Nature 627, 783-788 (2024).

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

Nils Gerhardt (Ruhr University Bochum, Germany, email: nils.gerhardt@rub.de)

Specialist of spin laser dynamics characterization. He will co-supervise the PhD research work and characterize spin-VECSEL in RUB.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

The team "Nanomaterials and Optics" (team 104) of the Institut Jean Lamour (IJL) in France is internationally recognized for its expertise in semiconductor spintronics. The growth of spin-VECSELs will also benefit from the platform TUBE, a 70 m long, ultra-high vacuum interconnected system. The device fabrication will be performed in the MiNaLor cleanroom. The candidate will also spend one year in Lab for Photonics and Terahertz Technology, Ruhr-University Bochum, Germany to characterize spin-VECSEL devices.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

To valorise the results of thesis, we will publish them in the leading scientific journals. To enlarge the influence to the spin-optoelectronics community, we will also encourage the PhD candidate to attend conferences to present our results in talks or posters (such as E-MRS, SPIE, Intermag or JMMM).

Complément sur le sujet

<https://nanooptospin.ijl.cnrs.fr/spintronics-with-semiconductors/> (<https://nanooptospin.ijl.cnrs.fr/spintronics-with-semiconductors/>)

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Le candidat doit avoir une bonne connaissance de la physique de la matière condensée, en particulier des semi-conducteurs et du magnétisme. La créativité, la rigueur et le goût pour le travail en équipe sont des qualités qui seront grandement appréciées. De bonnes compétences en communication (en français et en anglais) sont également requises.

Documents à fournir:

1. Un CV à jour,
2. Les bulletins de notes de M1 et M2 ou de 4A et 5A pour les ingénieurs,
3. Une lettre de candidature de l'étudiant expliquant sa motivation pour le sujet (nécessité d'avoir un engagement signé)
4. Lettres de recommandation (facultatif)

The candidate should have a good knowledge in condensed matter physics particularly in semiconductor and magnetism. Creativity, rigor, and taste for teamwork are qualities that will be highly appreciated. Good communication skills (French and English) are also required.

Documents required:

1. An up-to-date CV,
2. The academic transcripts for M1 and M2 or for the 4th and 5th years for engineering students,
3. A cover letter from the student explaining their motivation for the subject (requirement for a signed commitment),
4. Letters of recommendation (optional).

