



Titre Thèse	Nouvelles sources rapides THz continues exploitant les émetteurs large bande à effet Spin Hall inverse	
Title	Novel rapid continuous-wave THz sources exploiting broadband inverse spin Hall effect emitters	
(Co)-Directeur	Nicolas TIERCELIN	E-mail : nicolas.tiercelin@iemn.fr
(Co)-Encadrant	Mathias VANWOLLEGHEM	E-mail : mathias.vanwolleghem@iemn.fr
Laboratoire	IEMN CNRS UMR 8520	Web : https://www.iemn.fr/
Equipes	THz Photonics & AIMAN-FILMS	Web : https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/phononique-thz https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/aiman-films
Financement acquis ? <input checked="" type="checkbox"/>	Contrats de Recherche	Projet Européen FET-OPEN s-NEBULA [H2020-FETOPEN-2018-2020 863155]

Résumé du sujet :

Dans le cadre du FET OPEN s-NEBULA (un partenariat franco-allemand-suédois-tchèque dirigé par THALES SA), une approche révolutionnaire de la génération de rayonnement THz est explorée en exploitant l'interaction spin-orbite (SO) ultrarapide à l'interface entre les couches minces métalliques magnétiques/non magnétiques. Dans l'effet Hall à spin inverse (ISHE), un courant de charge net est créé lorsqu'un courant polarisé par le spin est injecté dans un métal lourd 5d qui présente un fort couplage SO. En utilisant de courtes (~10fs) impulsions laser femtoseconde (d'une énergie de quelques nJ) sur une multicouche métallique de Co/Pt pour créer des impulsions de courant de spin rapide, un consortium de recherche allemand (et qui fait maintenant partie du projet s-NEBULA) a démontré il y a quelques années seulement que l'impulsion de charge ultra-rapide due à l'ISHE et se produisant dans la couche de Pt (~100fs), provoque une émission dans la gamme de fréquences THz. L'avantage de ce nouveau type d'émetteur spintronique est multiple. En plus d'être compact et de fonctionner à température ambiante, son principe, qui exploite les temps de relaxation ultra-rapides des électrons dans les métaux et n'est pas entravé par l'absorption des phonons, lui permet d'être à ultra large bande et potentiellement accordable en polarisation en contrôlant l'aimantation dans la couche ferromagnétique. Actuellement, il n'existe pas un seul émetteur THz à semi-conducteurs capable d'offrir de telles performances. Une telle source peut donc avoir un impact considérable en permettant par exemple la spectroscopie THz à ultra large bande mais aussi en servant d'émetteur pour des communications THz sécurisées à des fréquences porteuses qui ne sont pas directement accessibles (au-delà de 5THz).

Pourtant, le domaine de la spintronique THz en est à ses débuts et il reste beaucoup à explorer. Pour citer que quelques axes de recherche : optimisation des combinaisons de matériaux métalliques, exploration d'autres mécanismes de conversion spin/charge, modulation (magnétique) du signal THz, et surtout génération d'une émission en onde continue (CW) de rayonnement THz par photomixage de deux lignes laser intenses sur une multicouche FM/NM. Ce dernier défi reste précisément un terrain de recherche très fertile, car jusqu'à présent, tous les émetteurs spintroniques THz démontrés fonctionnent en mode pulsé.

Le candidat au doctorat qui sera engagé dans le cadre du projet FET OPEN s-NEBULA sera chargé de démontrer la possibilité de créer une émission THz à onde continue en utilisant les effets spintroniques. Une telle démonstration serait une première mondiale. Dans un deuxième temps, on étudiera comment la polarisation du signal en ondes entretenues peut être rapidement modulée en réorientant la direction de l'aimantation dans les couches ferromagnétiques. Pour cela, on étudiera si les effets magnétoélastiques rapides (couplage de l'aimantation à la déformation statique et/ou ondes acoustiques) permettent une inversion rapide de l'aimantation. D'autres approches exploitent les inversions rapides de l'aimantation dans les systèmes à fortes anisotropies magnétiques induites.



Dans ce cadre, le/la doctorant(e) sera impliqué(e) et dirigera certaines des étapes des travaux de recherche : de la modélisation numérique de l'excitation optique des courants de spin, en passant par la microfabrication des multicouches métalliques, à la caractérisation magnétique, optique et optoélectronique ultrarapide des émetteurs spintroniques. Le/la candidat(e) jouera un rôle actif dans le développement du nouveau banc expérimental pour ce projet. Il/elle sera également pleinement impliqué(e) dans les tenants et aboutissants du projet de l'UE et, à ce titre, fera partie d'un consortium de recherche de haut niveau et acquerra une expérience pratique des défis que représentent le respect des étapes et des résultats de la recherche, la participation aux réunions d'avancement du consortium et aux réunions d'examen de la commission.

Le/la candidat(e) idéal(e) a une formation en physique des solides ou en optoélectronique, avec un intérêt marqué pour la caractérisation des phénomènes ultrarapides. Une formation en magnétisme est un atout certain. Les groupes de recherche de l'IEMN concernés (photonique THz et AIMAN-FILMS) ont une longue expérience de la recherche dans le domaine de la photonique THz en général (allant des études fondamentales aux applications de systèmes complets) et du contrôle dynamique des phénomènes magnétiques. Les deux groupes de recherche disposent d'un ensemble d'équipements permettant de relever immédiatement tous les défis de recherche du projet s-NEBULA (lasers fs, installations de photomixage, magnétomètres, outils de pulvérisation cathodique pour le dépôt de structures magnétiques avec un accent sur les matériaux magnétoélastiques, détecteurs THz et spectroscopie, ...). L'IEMN dispose d'une des plus grandes salles blanches académiques (1500m²) en France, offrant toutes les infrastructures technologiques nécessaires à la fabrication de systèmes micro- et nano-optoélectroniques et micro- et nano-électromécaniques.

Les candidats intéressés sont invités à envoyer leur CV et leur lettre de motivation à nicolas.tiercelin@iemn.fr ou mathias.vanwollegem@iemn.fr

Début du contrat : printemps 2020, au plus tard le 1er juillet 2020.

English Version :

Within the FET OPEN s-NEBULA (a French-German-Swedish-Czech partnership led by THALES SA), a revolutionary approach to the generation of THz radiation is being explored exploiting ultrarapid spin-orbit interaction (SO) at the interface between magnetic/non-magnetic metallic thin films. In the inverse spin Hall effect (ISHE) a net charge current is created when a spin-polarized current is injected into a heavy 5d metal that exhibits strong SO coupling. Using short (~10fs) femtosecond laser pulses (of nJ pulse energy) shone on a Co/Pt metallic multilayer to create rapid spin current pulses, a German research consortium (and now also part of the s-NEBULA project) has demonstrated¹ just a couple of years ago that the resulting ISHE-mediated ultrafast net charge pulse occurring in the Pt layer (~100fs) will emit in the THz frequency range. The advantage of this new type of spintronic emitter is multifold. Besides being compact and operated at room-temperature (RT), its principle, exploiting the ultrafast electron relaxation times in metals and not being hindered by phonon absorption, allows it to be ultrabroadband and potentially polarization tunable by controlling magnetization in the ferromagnetic layer. Presently, there isn't a single solid-state THz emitter that is capable of delivering such a performance. Such a source may therefore have a tremendous impact by allowing for instance

ultrabroadband THz spectroscopy but also serving as emitter for secure THz communications at carrier frequencies that are not straightforwardly accessible (beyond 5THz).

¹Seifert, T., Jaiswal, S., Martens, U., Hannegan, J., Braun, L., Maldonado, P., ... Kampfrath, T. (2016). Efficient metallic spintronic emitters of ultrabroadband terahertz radiation. *Nature Photonics*, 10(7), 483–488.
<https://doi.org/10.1038/nphoton.2016.91>



Still, the field of THz spintronics is in its infancy and a lot remains to be explored. To name just a few research directions: optimization of the metallic material combinations, exploration of other spin-to-charge conversion mechanisms, (magnetic) modulation of the THz signal, and most importantly the generation of RT continuous-wave (CW) emission of THz radiation by photomixing two intense laser lines on a FM/NM multilayer. Precisely this latter challenge remains a very fertile research ground, as up till now all demonstrated THz spintronic emitters are operated in pulsed mode.

The PhD candidate to be hired on the s-NEBULA FET contract will be in charge of demonstrating the possibility of creating continuous-wave THz emission using spintronic effects. Such a demonstration would be a world first. In a second step it will be explored how the polarization of the CW signal can be rapidly modulated by reorienting the magnetization direction in the ferromagnetic layers. For this it will be investigated whether rapid magnetoelastic effects (coupling magnetization to strain or acoustic waves) allow fast magnetization reversal. Other approaches exploit fast magnetization reversals in systems with induced strong magnetic anisotropies.

Within the framework the PhD candidate will be involved in and leading some of the steps of the research tasks : from numerical modeling of the optical excitation of the spin currents, over the microfabrication of the metallic multilayers, to magnetic, optical, and ultrafast optoelectronic spintronic devices characterization. The candidate will play an active role in developing the new experimental bench for this project. He/She will also be fully involved with the ins and outs of the EU project and as such be a part of a top-tier research consortium and getting hands-on experience with challenges of meeting research milestones and deliverables, participating in consortium progress meetups and commission review meetings.

The ideal candidate has a background in Solid-State Physics or Optoelectronics with a keen interest for characterization of ultrafast phenomena. A background in and magnetism is a definite plus. The involved IEMN research groups (THz photonics and AIMAN-FILMS) have a longstanding research track record in the field of THz photonics in general (ranging from fundamental studies to full system applications) and dynamic control of magnetic phenomena. Both research groups have an equipment portfolio allowing to immediately tackle all research challenges of the s-NEBULA project (fs lasers, photomixing setups, magnetometers, sputtering tools for the deposition of magnetic structures with emphasis on magnetoelastic materials, THz detectors and spectroscopy, ...). IEMN itself boasts the presence of one the biggest academic clean rooms (1500m²) in France offering all necessary technological fabrication infrastructures for micro- and nano-optoelectronics and micro- and nano-electromechanical systems.

Interested candidates are encouraged to submit their CV and motivation letter to either nicolas.tiercelin@iemn.fr or mathias.vanwollegem@iemn.fr

Start of the contract: Spring 2020, at the latest July 1st 2020.