

Titre Thèse	Modulation Ultra-rapide du signal terahertz dans les émetteurs spintroniques	
Title	Ultra-fast modulation of the terahertz signal in spintronic emitters	
(Co)-Directeur	Nicolas Tiercelin	E-mail : nicolas.tiercelin@iemn.fr
(Co)-Directeur	Matthias Vanwolleghem	E-mail : mathias.vanwolleghem@iemn.fr
Laboratoire(s)	IEMN	Web : www.iemn.fr
Groupe(s)	AIMAN-FILMS / PHOTONIQUE-THz	Web : https://www.iemn.fr/en/la-recherche/les-groupes/aiman-films https://www.iemn.fr/en/la-recherche/les-groupes/photonique-thz
Financement acquis ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
	Origine :	
Financement demandé	Contrat Doctoral <input type="checkbox"/>	Etablissement porteur : Univ. Lille <input type="checkbox"/> Centrale Lille <input checked="" type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région <input checked="" type="checkbox"/>	Co-financement acquis : Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Préciser son origine (qu'il soit acquis ou non) : PEPR SPIN – PC2 : TOAST
	Autre:	

Résumé:

Les travaux scientifiques sur le THz ont pris leur essor dans les années 1980 avec la découverte par Auston, aux Bell Labs, du commutateur photoconducteur, aussi appelé « Auston Switch ». Depuis, la recherche THz ne s'est développée que lentement, et peu d'applications existent malgré l'énorme potentiel de la bande de fréquence. Cela est dû en partie aux nombreux défis à relever dans le domaine des sources, des guides d'ondes et des détecteurs. L'un de ces défis majeurs est la bande de fréquence 5-12 THz, pour laquelle il n'existe pas encore source convenable. Dans le cadre du PEPR "SPIN" récemment accepté, le projet ciblé TOAST a pour ambition de concevoir et de caractériser une nouvelle génération d'hétérostructures basées sur le spin, capables de générer, de manipuler et de détecter les ondes THz. Nous cherchons à combler les lacunes de la technologie THz conventionnelle en offrant des propriétés uniques telles que l'accès à la bande 5-12 THz et l'accordabilité par manipulation des caractéristiques magnétiques.

En particulier, l'obtention d'une modulation ultrarapide des émetteurs THz basés sur le spin améliorerait encore leur potentiel d'intégration dans les technologies THz. À cette fin, nous envisageons d'utiliser des émetteurs THz spintroniques dotés de propriétés magnéto-élastiques. Nous avons en effet démontré les propriétés particulières des multicouches magnétoélastiques [TbCo₂/FeCo]_xN exhibant une anisotropie magnétique uniaxiale dans le plan. Elles constitueront la base des travaux sur la modulation ultrarapide. Ces empilements permettent une transition de réorientation de spin (SRT) contrôlable, offrant une très grande sensibilité magnétique par rapport au champ magnétique externe, et dans un domaine de fréquence allant jusqu'à plusieurs GHz [1]. Une modulation à grande vitesse sera induite grâce à des techniques de type FMR.

De plus, une grande magnétostriction permet un contrôle efficace de la direction du spin via un effet magnétoélectrique induit par la contrainte, lorsqu'elle est combinée avec des matériaux électro-actifs tels que des piézoélectriques ou des relaxeurs ferroélectriques PMN-PT. Ce concept a déjà été exploité avec succès par l'IEMN pour le contrôle magnétoélectrique de la polarisation du signal THz émis dans des émetteurs spintroniques [2].

Dans le présent travail de doctorat, nous allons étudier l'extension de ce concept aux hautes fréquences. En particulier, l'aimantation peut être contrôlée à des fréquences élevées en intégrant les émetteurs conjointement à des dispositifs à ondes acoustiques de surface (SAW). Dans des dispositifs correctement conçus, tels que les lignes à retard SAW déjà réalisées à l'IEMN, il en résultera un contrôle dynamique de la contrainte entraînant une modulation à haute vitesse du signal THz. Le doctorant de l'IEMN consacrera son travail doctoral à la conception, la fabrication en salle blanche et la caractérisation d'émetteurs innovants contrôlés grâce à la magnétoélasticité, et les couplera à des antennes et des résonateurs qu'il dimensionnera et réalisera. L'objectif ultime du travail est de présenter un émetteur THz spintronique versatile dont les spécifications peuvent être personnalisées en fonction de besoins spécifiques (large/bande étroite, vitesse de modulation, contrôle de la polarisation, niveaux de puissance minimaux dans des bandes spécifiques, etc.) Les performances de ce nouvel émetteur pourront in fine être testées soit sur un lien de communication THz en espace libre, soit sur une application spécifique de spectroscopie 5-12THz.

Sujet en lien avec les priorités : Flagship IEMN « **Telecom UHD** » & I-Site : HUB Monde numérique au service de l'humain

References :

- [1] A. Klimov et al., *Journal of Applied Physics*, **107**, 9 (2010) 093916-1-6
[2] G. Lezier et al., *Appl. Phys. Lett.* **120**, 152404 (2022)

Abstract:

THz science took off in the 1980 with the discovery by Auston at Bell Labs of the photoconductive switch, a.k.a Auston switch. Since then, THz science has only slowly developed, and few applications exist despite the enormous potential of the frequency band. This is partly due to the numerous challenges sources, waveguides and detectors face. One such major challenge is the 5-12 THz frequency band, for which no good source exists. In the frame of the recently accepted PEPR “SPIN”, the TOAST moonshot project ambitions to design and characterize a new generation of spin-based heterostructures able to generate, manipulate and detect THz waves. We are aiming at tackling the deficiencies of conventional THz technology offering unique properties such as access to the 5-12 THz band and tunability via magnetic manipulation.

In particular, achieving ultrafast modulation of spin-based THz emitters would further enhance their potential for integration in THz technologies. For this purpose, we plan to use spintronic THz emitters with magneto-elastic properties. We indeed demonstrated the particular properties of $[\text{TbCo}_2/\text{FeCo}]_x\text{N}$ magnetoelastic multilayers with the occurrence of an in-plane uniaxial anisotropy. They will form the basis of the work on ultrafast modulation. It allows for a controllable Spin Reorientation Transition (SRT) providing a very large magnetic sensitivity vs. the external magnetic field, and in a frequency domain up to several GHz [1]. High speed modulation will be induced thanks to FMR-like techniques.

Secondly, a large magnetostriction allows for an efficient control of the spin direction via a stress-mediated magnetoelectric effect, when combined with electroactive materials such as piezoelectrics or PMN-PT ferroelectric relaxors. The concept was already successfully exploited by IEMN for the magnetoelectric control of the polarization of the emitted THz signal in spintronic emitters [2].

In the present doctoral work, we will investigate the extension of this concept to high frequencies. In particular, the magnetization can also be controlled at high frequencies when integrating Surface Acoustic Waves (SAW) patterns and functionalities. In properly designed devices such as SAW delay lines as already realized at IEMN, it will result in a voltage control and high-speed modulation of the THz signal. The IEMN doctoral candidate will devote his doctoral studies to the design, fabrication and characterization of innovative magnetoelastically controlled emitters and couple them to antenna & resonator designs. The ultimate goal being to present a fully flexible spintronic THz emitter with a specification sheet that can be customized according to specific needs (broad-/narrowband, modulation speed, polarization control, minimal power levels in specific bands, etc.). The performance of the novel emitter will be tested on either a free space THz communication link or a specific 5-12THz spectroscopy application.

Topic linked to: Flagship IEMN « **Telecom UHD** » & I-Site : HUB Monde numérique au service de l’humain

References:

- [1] A. Klimov et al., *Journal of Applied Physics*, **107**, 9 (2010) 093916-1-6
- [2] G. Lezier et al., *Appl. Phys. Lett.* **120**, 152404 (2022)