

Sujet thèse / PhD subject 2024

Titre Thèse Title	Mélangeur optoélectronique THz intégré à une sonde coplanaire micro-usiné pour caractérisation de composants millimétriques et THz	
Directeur	Emilien Peytavit	E-mail : emilien.peytavit@univ-lille.fr
Co-Directeur	Steve Arscott	E-mail : steve.arscott@univ-lille.fr
(Co)-Encadrant (s)		E-mail :
Laboratoire(s)	IEMN	Web : www.iemn.fr
Groupe(s)	Photonique THz	Web : THz Photonics group
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> Yncrea <input type="checkbox"/>
	Région – Autre <input checked="" type="checkbox"/> Préciser : Région	Co-financement acquis Oui <input checked="" type="checkbox"/> Préciser : ANR
Financement acquis ? <input type="checkbox"/> Financement partiellement acquis ? <input type="checkbox"/>	Contrats de Recherche <input type="checkbox"/> Préciser :	Autre <input type="checkbox"/> Préciser :

Résumé :

La montée en fréquence du fonctionnement des composants électroniques et photoniques pour les télécoms nécessite le développement de moyen de caractérisation ultra large bande couvrant une bande fréquentielle allant de la dizaine de GHz à plusieurs centaines de GHz, voire à 1 THz. Aujourd’hui, les moyens de caractérisation standard, utilisant les technologies propres à l’électronique, de type analyseur de spectre électrique ou analyseur de réseau vectoriel, sont limités à des fréquences inférieures à 100 GHz et nécessitent, pour aller au-delà, l’ajout de multiples modules d’extension coûteux et qui permettent uniquement une analyse de type bande à bande (voir Figure 1).

Une voie prometteuse afin de développer des moyens de caractérisations ultra-large bande, consiste à utiliser les techniques issues de la photonique micro-onde et THz permettant de ramener en bande de base les signaux hautes fréquences à analyser. Dans ces techniques de mélange hétérodyne optoélectronique, l’oscillateur local est constitué d’une ou plusieurs fréquences optiques devant présenter des stabilités et des puretés spectrales de l’ordre de la dizaine de Hz [1] [2]. L’équipe Photonique THz développe depuis une dizaine d’années des mélangeurs optoélectroniques reposant une technologie de photoconducteurs en microcavités optiques présentant des pertes de conversion de l’ordre de 1 % dans le domaine THz, soit seulement 10X moins que les mélangeurs électroniques [3]. Il est donc possible d’imaginer aujourd’hui un analyseur de spectre et/ou de réseaux vectoriels très large bande (0- 1 THz) utilisant ces technologies avec une dynamique de mesure potentiellement comparable aux solutions existantes. C’est un sujet de recherche très concurrentiel

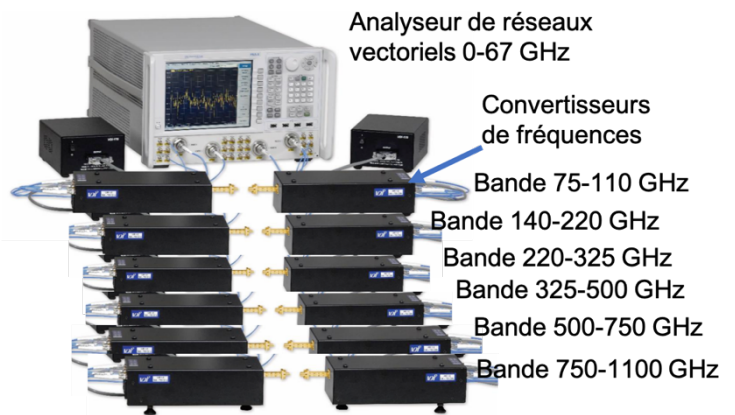


Figure 1. Problématique de la mesure large bande en gamme millimétrique et THz. Analyseur de réseaux vectoriel et extensions nécessaires (convertisseurs de fréquences) pour couvrir la bande 0-1 THz. Il faut 6 systèmes d’extension en plus de l’analyseur de réseau basse fréquence. Coût total (~1M€). Un seul convertisseur est utilisable à la fois entraînant de multiples opérations manuelles et procédures de calibration. (Adaptée de vadiodes.com)

puisqu’on peut citer au moins deux projets européens qui sont financés aujourd’hui sur cette thématique : le projet ERC Pho-T-Lyze [4] et le projet FET OPEN Terameasure [5]. En parallèle une technologie de fabrication de pointes coplanaire pour la caractérisation de composants électroniques a été développée à l’IEMN ces dernières années dans le cadre du projet EQUIPEX Excelsior. Des premières études ont permis d’obtenir un guide de conception mécanique et électromagnétique pour des pointes miniaturisées basées sur des micro-poutres en silicium minces [6]. Cela a permis de concevoir et fabriquer des pointes fonctionnant jusqu’à 40

GHz [7–9]. Enfin en 2020, l'importance des pertes associées à la surface de silicium entre les lignes de transmission utilisées dans les pointes coplanaires a été mis en évidence [10].

Le sujet cette thèse porte sur la conception et fabrication d'un mélangeur optoélectronique intégré sur une sonde coplanaire en silicium micro-usiné présenté en fig. 2 permettant l'analyse de signaux « sur plaquette » dans une gamme de fréquence « 0-500 GHz ». Le signal mesuré sera directement converti sur la pointe par le mélangeur optoélectronique et seul le signal à la fréquence intermédiaire (FI) (<20 GHz typiquement) sera envoyé vers un analyseur de spectre RF électronique ou tout autre instrument permettant la détection de signaux « basse » fréquence. Cela veut dire qu'un packaging RF à faible coût sera nécessaire, contrairement à la technologie standard utilisant les guides d'ondes usinés. L'oscillateur optique sera obtenu par superposition de plusieurs diodes lasers issues des télécommunications optiques stabilisé sur un laser impulsif à haut taux de répétition (1 GHz), ce qui permettra d'obtenir un oscillateur optique ayant des performances spectrales compatible avec l'application envisagée. L'objet de la thèse portera cependant plus sur la conception optoélectronique et hyperfréquences et la fabrication de la pointe intégrée plutôt que sur la source optique qui pourra être développé par ailleurs. Le doctorant, pour mener à bien ses travaux, se reposera sur l'expertise de deux de l'IEMN ; le groupe Photonique THz pour la conception et la fabrication de mélangeur optoélectronique et la caractérisation de composants optoélectroniques rapides, le groupe Nam6 pour la conception et la fabrication de pointe hyperfréquences en silicium micro-usiné et la plateforme de caractérisation hyperfréquences de l'IEMN.

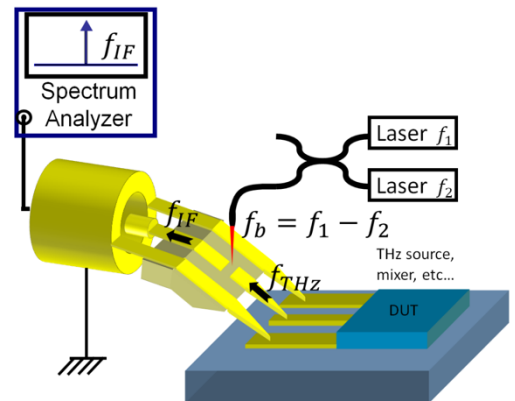


Figure 2: Analyseur de spectre 0-500 GHz pour mesure sous pointe.

Pour cette thèse pluridisciplinaire, nous recherchons un étudiant ayant suivi un parcours universitaire comportant au moins un des enseignements suivants : microélectronique/microtechnologie, micro-ondes/hyperfréquences, physique des composants à semiconducteur ou encore optoélectronique et qui est motivé par la recherche en physique appliquée.

Bibliographie

1. S. Verghese, K. A. McIntosh, S. Calawa, W. F. Dinatale, E. K. Duerr, and K. A. Molvar, "Generation and detection of coherent terahertz waves using two photomixers," *Appl. Phys. Lett.* **73**, 3824 (1998).
2. A. Roggenbuck, H. Schmitz, A. Deninger, I. C. Mayorga, J. Hemberger, R. Güsten, and M. Grüninger, "Coherent broadband continuous-wave terahertz spectroscopy on solid-state samples," *New J. Phys.* **12**, 043017 (2010).
3. E. Peytavit, F. Pavanello, G. Ducournau, and J.-F. Lampin, "Highly efficient terahertz detection by optical mixing in a GaAs photoconductor," *Appl. Phys. Lett.* **103**, 201107 (2013).
4. "ERC Pho-T-Lyze," <https://cordis.europa.eu/project/id/713780/fr>.
5. G. Carpintero, "Terameasure FET OPEN," <https://www.uc3m.es/research/terameasure>.
6. J. Marzouk, S. Arscott, K. Haddadi, T. Lasri, and G. Dambrine, "Miniaturized MEMS-based GSG probes for microwave characterization," in *2014 44th European Microwave Conference (IEEE, 2014)*, pp. 1150–1153.
7. J. Marzouk, S. Arscott, K. Haddadi, T. Lasri, C. Boyaval, S. Lepilliet, and G. Dambrine, "Miniaturized Microcantilever-based RF Microwave Probes Using MEMS Technologies," *Procedia Eng.* **87**, 692–695 (2014).
8. J. Marzouk, S. Arscott, A. El Fellahi, K. Haddadi, T. Lasri, Christophe Boyaval, and G. Dambrine, "MEMS probes for on-wafer RF microwave characterization of future microelectronics: design, fabrication and characterization," *J. Micromechanics Microengineering* **25**, 75024 (2015).
9. A. El Fellahi, K. Haddadi, J. Marzouk, S. Arscott, C. Boyaval, T. Lasri, and G. Dambrine, "Integrated MEMS RF Probe for SEM Station—Pad Size and Parasitic Capacitance Reduction," *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.* **25**, 693–695 (2015).
10. J. Marzouk, V. Avramovic, and S. Arscott, "Intertrack surface losses in miniature coplanar waveguide on silicon-on-insulator," *J. Phys. D: Appl. Phys.* **54**, 45102 (2020).