

Titre Thèse Title	Détecteurs moyen infrarouge à puits quantiques ultrarapides : développement d'une nouvelle génération à performance accrue	
(Co)-Directeur	Stefano Barbieri	E-mail : stefano.barbieri@iemn.fr
(Co)-Directeur	Emilien Peytavit	E-mail : emilien.peytavit@iemn.fr
(Co)-Encadrant (s)		E-mail :
Laboratoire(s)	IEMN	Web :
Groupe(s)	Photonique THz	Web :
Financement acquis ?	Oui ☐	Non ☐
	Origine :	
Financement demandé	Contrat Doctoral ☒	Etablissement porteur : Univ. Lille ☒ Centrale Lille ☐ JUNIA ☐
	Région ☒	Co-financement acquis : Oui ☒ Non ☐ Préciser son origine (qu'il soit acquis ou non) : PEPR Electronique
	Autre :	

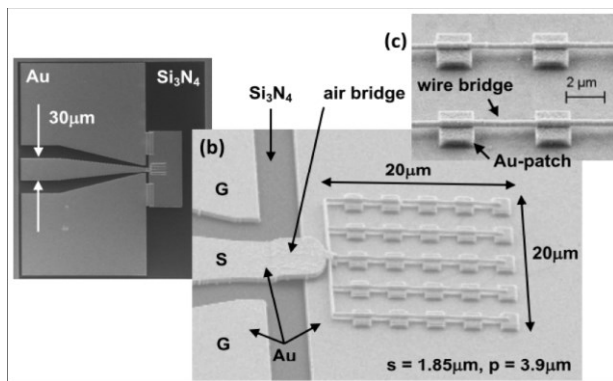
Résumé :

Le groupe photonique THz développe depuis plusieurs années des photoconducteurs Moyen InfraRouge (MIR - 5-12 μ m) dont la bande passante électrique est supérieure à la centaine de GHz, un record de performance à ce jour. Ces composants sont constitués de réseaux de photoconducteurs à puits quantiques couplés à des antennes « patch » plasmoniques, reliées entre elles par des ponts à air métalliques [1]. Ces détecteurs MIR rapides sont adaptés à de nombreuses applications telles que la spectroscopie IR, les télécommunications en espace libre, la caractérisation de peignes de fréquences ou encore la génération d'ondes THz par photomélange de deux lasers MIR. Le cœur du détecteur consiste d'un empilement multicouche, où chaque couche est formée par un alliage de matériaux semi-conducteurs appartenant au groupes 3 et 5 de la table périodique (typiquement AlGaAs-GaAs ou InGaAs-InAlAs). En alternant des couches d'épaisseur nanométrique, l'on arrive ainsi à créer des puits de potentiel pour les électrons, donnant lieu à des niveaux quantifiés d'énergie. C'est en jouant sur l'épaisseur et la composition des couches de semi-conducteur (*quantum engineering* en anglais) que l'on peut réaliser et optimiser des détecteurs pour une longueur d'onde donnée et couvrir ainsi toute la gamme MIR. Un autre élément qui joue un rôle fondamental sur la performance et les propriétés de détecteurs est constitué par les antennes plasmoniques. Actuellement, ces dernières prennent la forme de carrés (« patch ») métalliques de dimensions micrométriques situés au-dessus d'un plan de masse. Cette architecture est idéale d'un point de vue pratique car elle permet l'illumination des détecteurs à incidence normale. Toutefois la présence du plan de masse est incompatible avec l'intégration sur circuit de lecture CMOS, un obstacle pour la réalisation de matrices de détecteurs.

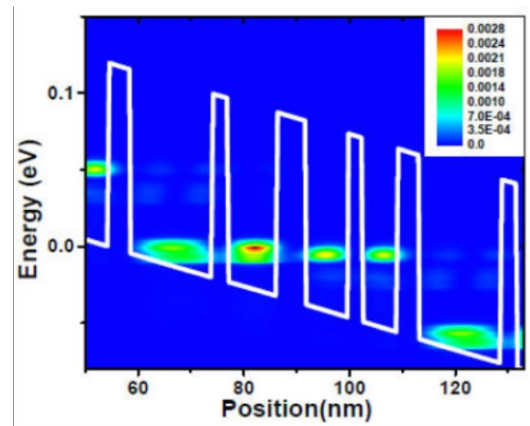
A partir des performances déjà obtenues [1], l'objectif de ce projet de thèse est celui de démontrer une nouvelle génération de photodétecteurs MIR avec des performances accrues, notamment grâce à la conception de nouveaux types d'antennes dans la gamme THz et de nouvelles structures avec un plus fort gain photoconductif en travaillant sur le design quantique du dispositif. En particulier, nous visons (i) une augmentation de la responsivité d'un facteur 2-3 par rapport à l'état de l'art, avec l'ambition d'atteindre une détection limitée par le bruit de photons à des températures > 200K-250K ; (ii) une extension de la bande passante radiofréquence (RF) jusqu'à 150 GHz ; (iii) la conception d'une architecture d'antenne compatible avec circuit de lecture CMOS. Le travail de thèse sera donc reparti sur 2 volets. Une partie qui concerne le design, à la fois quantique et électromagnétique. Ces 2 aspects seront abordés à l'aide de codes commerciaux. Notamment le design de la structure quantique se basera sur le code commercial *Nextnano*® (<https://www.nextnano.de>) qui permet non seulement de calculer les niveaux électroniques mais aussi le transport quantique des électrons en utilisant le formalisme des fonctions de Green. Le deuxième volet du travail concernera la caractérisation optique et électrique des détecteurs qui seront fabriqués dans la salle blanche du Laboratoire par un personnel dédié.

Pour ce projet de doctorat, nous recherchons un/e étudiant/e motivé/e avec des bonnes connaissances en électromagnétisme, optoélectronique et mécanique quantique. Les travaux impliqueront des simulations électromagnétiques par éléments finis, et les optoélectroniques des dispositifs, notamment par spectroscopie à transformée de Fourier et par mélange optique de sources laser moyen-infrarouge.

- [1] M. Haki *et al.*, "Ultrafast Quantum-Well Photodetectors Operating at 10 μm with a Flat Frequency Response up to 70 GHz at Room Temperature," *ACS Photonics*, 2021, doi: 10.1021/acsp Photonics.0c01299.



Photos au microscope électronique de réseaux de détecteurs MIR avec accès coplanaire fabriqués à l'IEMN [1].



Exemple de calcul de fonctions d'onde et de niveaux électroniques dans une structure à multi-puits quantiques fait avec le logiciel *Nextnano*®.