

Sujet thèse / PhD subject 2025

Titre Thèse	Développement de transistors bipolaires à hétérojonction (HBT) AlGaIn/GaN pour des applications à haute fréquence et puissance	
PhD Title		
(Co)-Directeur	Mohammed ZAKNOUNE	E-mail : mohammed.zaknune@univ-lille.fr
(Co)-Directeur		E-mail :
(Co)-Encadrant (s)	Mahmoud ABOU DAHER	E-mail : mahmoud.abou-daher@univ-lille.fr
Laboratoire	IEMN	Web : https://www.iemn.fr/
Groupe(s)	ANODE	Web : https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/groupe-anode
Projet phare principal	ENERGY /MICRO-NANO DEVICES	
Demande de fléchage IEMN ? (Energie / Nanocaractérisation / Technologies Neuromorphiques)	Oui ./ Non : Oui Flagship choisi : ENERGY	
Demande de labellisation Université de Lille (GREAL, labellisée)	Oui / Non : Oui Label : GREAL	
Financement acquis Non <input checked="" type="checkbox"/>		
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input checked="" type="checkbox"/>
	Région ou Autre <input checked="" type="checkbox"/> Préciser : Financement de contrats doctoraux GRAEL	Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, et si acquis ou pas) :

A. Résumé :

Dans le cadre de l'optimisation de l'efficacité énergétique et des performances des systèmes électroniques, cette thèse propose de développer une nouvelle filière de transistors bipolaires à hétérojonction (HBT) en AlGaIn/GaN adaptés à des applications à haute fréquence (RF). Cette technologie, encore inexploitée en France, s'inscrit dans l'expertise du groupe Anode de l'IEMN, reconnu à l'international pour ses travaux sur les transistors HBT sur III-V et les dispositifs verticaux de type Schottky GaN, notamment pour les applications hautes fréquences et THz. L'objectif principal est de répondre aux besoins croissants d'efficacité énergétique, de densité de puissance dans des domaines stratégiques tels que les télécommunications, l'automobiles...

Dans le cadre d'un projet JCJC soumis lors de l'APP 2025 (phase 1), l'objectif est d'explorer le potentiel des HBTs en GaN, une technologie prometteuse pour les applications de puissance à haute fréquence. En combinant les avantages intrinsèques des HBTs (transconductance élevée, densité de puissance élevée...) aux propriétés du GaN (large bande interdite, son champ électrique critique élevé et sa robustesse thermique), ce projet ambitieux d'établir une filière technologique pour les dispositifs RF verticaux en AlGaIn/GaN.

En particulier, pour les systèmes RF, le projet se concentre sur des structures à collecteurs fins, optimisées pour atteindre des fréquences de transition (f_T) et des fréquences maximales d'oscillation (f_{Max}) comprises entre 50 et 90 GHz, tout en assurant une tenue en tension supérieure à 100 V.

Pour atteindre les objectifs du projet, une première étape consistera à mener une étude approfondie des mécanismes d'injection de charge dans les dispositifs. L'accent sera mis sur l'optimisation de la jonction émetteur-base, en ajustant notamment le taux d'aluminium dans la couche émettrice en AlGaIn. Ces ajustements seront explorés grâce à des simulations utilisant l'outil SILVACO. Après avoir défini ces paramètres, la conception des masques nécessaires à la fabrication des transistors sera réalisée. La fabrication, ensuite, mettra l'accent sur l'optimisation des contacts ohmiques, particulièrement celui de la base, pour réduire la résistance spécifique de contact, ainsi que sur la minimisation des défauts de surface liés aux étapes critiques de gravure sèche de type ICP. Ces optimisations seront essentielles pour garantir des performances élevées et une fiabilité accrue, notamment pour les architectures verticales. Dans la phase finale, les transistors fabriqués seront soumis à une caractérisation détaillée pour évaluer leurs performances en haute fréquence (RF) et en puissance en mode load pull à 18 GHz et à 40 GHz si les performances fréquentielles des HBTs le permettent.

En combinant une ingénierie des structures et des avancées dans les processus de fabrication, ce projet ambitionne de positionner les HBT AlGaN/GaN comme une solution de référence pour les dispositifs verticaux de prochaine génération pour des application de puissance à haute fréquence.

Abstract:

In the pursuit of advancing energy efficiency and enhancing the performance of electronic systems, this thesis focuses on developing a new technological platform for heterojunction bipolar transistors (HBTs) based on AlGaN/GaN, tailored for high-frequency (RF) applications. This innovative technology, still underexplored in France, leverages the expertise of the Anode group at IEMN, internationally recognized for its research on III-V HBTs and vertical GaN Schottky devices for high-frequency and THz applications. The primary goal is to meet the growing demands for energy efficiency and power density in strategic sectors such as telecommunications, automotive, and aerospace.

As part of a JCJC project submitted under APP 2025 (phase 1), the objective is to explore the potential of GaN-based HBTs, a promising technology for high-frequency power applications. By combining the inherent advantages of HBTs (high transconductance, high power density, etc.) with the unique properties of GaN (wide bandgap, high critical electric field, and excellent thermal stability), this project aims to establish a technological foundation for vertical RF devices in AlGaN/GaN. The project will focus particularly on thin-collector structures optimized to achieve transition frequencies (f_T) and maximum oscillation frequencies (f_{Max}) between 50 and 90 GHz, while ensuring breakdown voltages above 100 V.

To achieve these objectives, the first step will involve a detailed study of charge injection mechanisms in the devices. The optimization of the emitter-base junction will be prioritized, with a focus on controlling the aluminum content in the AlGaN emitter layer. This phase will rely on advanced simulations using the SILVACO tool. Once these parameters are defined, the design of lithographic masks for transistor fabrication will follow.

The fabrication process will prioritize the optimization of ohmic contacts, particularly the base contact, to reduce specific contact resistance. Additionally, attention will be given to minimizing surface defects caused by critical dry etching steps, such as ICP etching. These improvements are essential to ensure high performance and enhanced reliability, especially for vertical device architectures.

In the final phase, the fabricated transistors will be subjected to detailed characterization to evaluate their RF and power performance, including load-pull measurements at 18 GHz and 40 GHz, depending on the frequency capabilities of the HBTs.

By combining structural engineering and advances in fabrication processes, this project aims to position AlGaN/GaN HBTs as a reference technology for next-generation vertical devices in high-frequency power applications.