

Sujet de thèse : Étude du phénomène de piège dans les transistors HEMTs RF GaN :
Caractérisation électrique et simulation physique

Financement : RIN ou établissement 100%

Durée : 3 ans

Date de démarrage : 01/10/2024

Date limite de candidature : 01/05/2024

Description du sujet de thèse :

Les transistors à haute mobilité électronique (HEMT) à base de Nitrure de Gallium (GaN) ont été développés pour répondre à des besoins croissants en termes de puissance, de hautes fréquences, de tenue en température, de résistance aux radiations ionisantes et d'efficacité énergétique. Ces transistors possèdent de larges champs d'applications de natures très diversifiées et répondent à des besoins d'ordre civile et militaire. Il s'agit du marché des télécommunications, du marché spatial (communications RF, applications satellites) et du marché de la défense (RADAR). Cependant de nombreuses interrogations concernant les limites de performance de ces dispositifs subsistent. Les pièges sont aujourd'hui l'un des phénomènes parasites les plus importants de la technologie HEMTs GaN. Les recherches effectuées sur cette technologie sont focalisées sur l'amélioration de la fiabilité de ces composants en réduisant ces effets de pièges. Pour les applications radars, la technologie HEMT GaN est critique dans les amplificateurs de puissance côté émission car l'impact des effets mémoires liés aux états de pièges dégradent la précision de détection des cibles dans un environnement contraint. Ces défauts étant en général déjà présents à l'état initial, on ne peut donc pas à proprement parler de dégradation. Toutefois, leur état évolue souvent pendant le vieillissement, par conséquent, la compréhension et le contrôle de ces effets est indispensable pour évaluer la fiabilité des HEMTs GaN. Les composants GaN qui seront adressés dans cette thèse couvrent un large spectre de fréquences (De 1GHz à 90 GHz), ils sont fournis par le fondeur européen UMS et le laboratoire IEMN de l'Université de Lille. Cette thèse sera adossée au projet ANR JCJC 2024 « FARGET » déposée par Mme Niemat Moulitif.

L'objectif de cette thèse est d'étudier les phénomènes de pièges dans les dernières générations de transistors à haute mobilité électronique (HEMT) à base de nitrure de gallium (GaN). Différentes méthodes de caractérisation du comportement des pièges dans les HEMTs GaN existent, telles que la spectroscopie transitoire des niveaux profonds (DLTS: Deep Level Transient Spectroscopy : capacité, courant pour respectivement C-DLTS et I-DLTS), A-DCTS (Athermal Direct Current Transient Spectroscopy), DLOS (Deep Level Optical Spectroscopy), les mesures transitoires Gate-Lag (GL) et Drain-Lag (DL), l'étude de la dispersion en fréquence de la transconductance, les mesures des paramètres S ou la mesure du bruit basse fréquence. Les gammes temporelles et thermiques explorées par ces techniques sont parfois différentes et soulignent la complémentarité de ces techniques.

L'équipe a développé la technique A-DCTS. Un banc de mesures est opérationnel et devra être adapté aux différentes technologies de composant d'étude (en boîtier ou sur wafer) afin de caractériser les pièges. Couplé à des mesures statiques I-V en régime pulsé, le candidat devra analyser et rechercher les phénomènes de pièges en surface ou aux interfaces (Drain lag et Gate lag). Il devra ensuite mettre en relation les phénomènes physiques observés à l'intérieur du transistor au regard de la bibliographie.

Pour vérifier les hypothèses et identifier avec précision l'origine, la localisation et les effets des pièges dans les HEMTs en GaN, la thèse se focalisera sur la simulation physique avec le logiciel (TCAD/Silvaco). La simulation TCAD est un outil efficace pour examiner et interpréter la performance en termes de fiabilité des HEMTs en GaN et les choix de conception. Les simulations TCAD avec et sans pièges seront comparées aux mesures expérimentales pulsées. La relation entre le piégeage, les fuites de grille et la densité 2DEG sera étudiée. Cette étude contribuera au développement de modèles compacts précis et fiables pour la conception de circuits de puissance micro-ondes basés sur les HEMTs en GaN. Pour atteindre cet objectif les mesures par paramètres S devront être développées. Ensuite, l'étude pourra poursuivre afin d'évaluer non seulement la fiabilité et les performances du composant mais aussi celles du système, en simulant l'impact de ces défauts sur le fonctionnement d'une chaîne d'émission/réception Radar.

In fine, ces travaux de thèse visent à étudier la fiabilité et le phénomène des pièges de plusieurs empilements de type HEMT sur substrat SiC afin de dégager l'impact de différentes variantes, sur les performances des composants comme la nature, l'épaisseur des couches, leur dopage. Des composants à grille ultra-courte (<100 nm) permettant un fonctionnement jusqu'en bande de fréquence W (> 75 GHz) seront étudiés.

Profil du candidat

Le (la) candidat(e) doit avoir une formation solide dans le domaine de l'électronique, avec des connaissances sur les transistors de puissance RF. Des connaissances dans le domaine des matériaux (semiconducteurs, physique du solide) ainsi que dans la simulation physique seront appréciées.

Contacts : Pascal Dherbecourt, 02 32 95 51 57. Niemat Moulitif, 02 32 95 50 78.

Les candidats intéressés devront envoyer une lettre de motivation et leur CV à : pascal.dherbecourt@univ-rouen.fr ; niemat.moulitif0@univ-rouen.fr; mohamed.masmoudi@univ-rouen.fr .

Présentation de l'établissement

Le Groupe de Physique des Matériaux (GPM, environ 90 permanents) est une Unité Mixte de Recherche (UMR) entre le CNRS, l'Université de Rouen Normandie et l'INSA de Rouen. Ses recherches, orientées nanosciences, concernent les transformations de phases diffusives, la micro-électronique, les propriétés magnétiques, la mécanique des matériaux et l'instrumentation scientifique avec le développement notamment de la Sonde Atomique Tomographique, instrument phare du GPM pour l'analyse en 3D des matériaux à l'échelle atomique.

La thèse se déroulera dans le département « Matériaux fonctionnels et nanostructures » qui travaille sur la thématique « Microélectronique : du matériau à la défaillance ». Les activités de recherche menées au laboratoire qui concernent l'analyse de défaillance et la fiabilité sont récentes. Elles s'appuient le plus souvent sur des collaborations industrielles dans le cadre du pôle de compétitivité Mov'eo ou l'Institut Carnot ESP. Ces recherches sont le plus souvent appliquées à l'automobile ou à l'aérospatiale à travers l'étude de la fiabilité et la défaillance de composants électroniques.

Groupe de Physique de Matériaux UMR CNRS 6634
Avenue de l'Université - BP12. 76801 Saint-Etienne-du-Rouvray Cedex
<https://gpm.univ-rouen.fr/>

Thesis topic: Study of the Trap Phenomenon in RF GaN HEMTs Transistors: Electrical Characterization and Physical Simulation

Funding: RIN 100%

Duration: 3 years

Start Date: 01/10/2024

Description of the thesis subject:

High Electron Mobility Transistors (HEMTs) based on Gallium Nitride (GaN) have been developed to meet growing needs for power, high frequencies, temperature resistance, and resistance to ionizing radiation. These transistors have a wide range of applications, both commercial and military, spanning various fields. These include the telecommunications market, the space market (RF communications, satellite applications), and the defense market (RADAR). However, many questions regarding the performance limits of these devices remain. Traps are currently one of the most significant parasitic phenomena in GaN HEMT technology. Research in this field is focused on improving the reliability of these components by reducing the effects of traps. For radar applications, GaN HEMT technology is critical in power amplifiers on the emission side because the impact of memory effects related to trap states degrades target detection accuracy in a challenging environment. Since these defects are generally present from the initial state, they cannot be strictly called degradation. However, their state often evolves during aging, which poses a problem from a reliability perspective. Therefore, understanding and controlling these effects is essential to assess the reliability of GaN HEMTs. The GaN components addressed in this thesis cover a wide frequency range (from 1 GHz to 90 GHz) and are supplied by the European foundry UMS and the IEMN laboratory at the University of Lille. This thesis is associated with the ANR JCJC 2024 project "FARGET" submitted by Dr. Niemat Moulitif.

The objective of this thesis is to study trap phenomena in the latest generations of Gallium Nitride (GaN)-based High Electron Mobility Transistors (HEMTs). Various methods for characterizing trap behavior in GaN HEMTs exist, such as Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS) for capacitance and current (C-DLTS and I-DLTS), Athermal Direct Current Transient Spectroscopy (A-DCTS), Deep Level Optical Spectroscopy (DLOS), Gate-Lag (GL) and Drain-Lag (DL) transient measurements, the study of transconductance frequency dispersion, S-parameter measurements, and low-frequency noise measurements. The temporal and thermal ranges explored by these techniques are sometimes different, highlighting the complementarity of these measurements.

The team has developed the A-DCTS technique, and a measurement setup is operational and needs to be adapted to different component technologies (in package or on wafer) to characterize traps. Coupled with static I-V measurements under pulsed conditions, the candidate must analyze and investigate surface or interface traps (Drain lag and Gate lag). He must then relate the observed physical phenomena inside the transistor to the existing literature.

To verify the hypotheses and accurately identify the origin, location, and effects of traps in GaN HEMTs, the candidate will use physical simulation with TCAD/Silvaco software. TCAD simulation is an effective tool for examining and interpreting the reliability performance and design choices of GaN HEMTs. TCAD simulations with and without traps will be compared to experimental pulsed measurements. The relationship between trapping, gate leakage, and 2DEG density will be studied. This study will contribute to the development of accurate and reliable compact models for the design of microwave power circuits based on GaN HEMTs. To achieve this goal, S-parameter measurements

need to be developed. Furthermore, the study can be extended to assess not only the component's reliability and performance but also their impact on the overall system by simulating the effect of these defects on the operation of a radar transceiver chain.

In conclusion, this thesis work aims to investigate the reliability and trap phenomenon of various HEMT stackings on SiC substrates to determine the impact of different variants on component characteristics, such as layer nature, thickness, and doping. Ultra-short gate components (<100 nm) allowing operation up to the W-band (>75 GHz) will be investigated.

Candidate Profile

The candidate must have training in electronics, with knowledge of RF power transistors. Knowledge in the field of materials (semiconductors, solid state physics) and physical simulation will be appreciated.

Contacts : Pascal Dherbécourt, 02 32 95 51 57. Niemat Moulitif, 02 32 95 50 78.

Interested candidates should send a cover letter and their CV to: pascal.dherbecourt@univ-rouen.fr ; niemat.moulitif0@univ-rouen.fr; mohamed.masmoudi@univ-rouen.fr .

Institution Overview

The Group of Materials Physics (GPM, about 90 permanent) is a Mixed Research Unit (UMR) between the CNRS, the University of Rouen Normandy and the INSA of Rouen. Its research, oriented to nanosciences, concerns the transformations of diffusive phases, micro-electronics, magnetic properties, the mechanics of materials and scientific instrumentation with the development notably of the Atomic Tomographic Probe, GPM's flagship instrument for 3D analysis of materials at the atomic scale.

The thesis will take place in the department «Functional materials and nanostructures» which works on the theme «Microelectronics: from material to failure». The research activities conducted in the laboratory regarding failure analysis and reliability activities are recent. They are most often based on industrial collaborations within the framework of the competitiveness pole Mov'eo or the Carnot ESP Institute. This research is most often applied to both the automotive and aerospace sectors through the study of the reliability and failure analysis of electronic components.

Groupe de Physique de Matériaux UMR CNRS 6634
Avenue de l'Université - BP12. 76801 Saint-Etienne-du-Rouvray Cedex
<https://gpm.univ-rouen.fr/>