

Sujet de thèse (octobre 2023)

Conception de composants et fonctions de puissance en nitrure de gallium (GaN) pour les applications haute tension

Design of gallium nitride (GaN) power devices and functions for high voltage applications

Mots clés : nitrure de gallium (GaN), composants et fonctions de puissance, intégration, simulation
Keywords: gallium nitride (GaN), power devices and functions, integration, simulation.

Description du sujet :

La gestion de l'énergie constitue l'un des plus importants défis que notre société va devoir relever au cours du 21^e siècle. C'est sur ce défi que se positionnent les activités de recherche du sujet proposé ; la conception de nouveaux interrupteurs de puissance est indispensable : il convient de minimiser les pertes, d'assurer une meilleure gestion de l'énergie électrique, d'augmenter les performances (tenue en tension, calibre en courant, rendement) et la robustesse en améliorant les caractéristiques intrinsèques des composants à semi-conducteurs. Les matériaux semi-conducteurs à large bande interdite tels que le nitrure de gallium (GaN) sont les candidats adéquats pour répondre à ce défi.

À ce jour, les composants en GaN sont très majoritairement des composants latéraux à hétérostructures AlGaN/GaN. Bien que fabriqués sur des substrats en silicium larges et donc faible coût, ces composants présentent de nombreuses limitations : tensions de seuil V_{TH} trop faibles, tenues en tension BV limitées (< 1 kV) et en compromis avec la densité de puissance, des résistances dynamiques à l'état passant élevées, etc. C'est la raison pour laquelle il est indispensable de fabriquer des composants verticaux qui peuvent tenir de hautes tensions (> 1 kV) en conservant une faible surface.

C'est dans ce cadre que s'insère le projet *VERTIGO* financé par le PEPR (Programmes et équipements prioritaires de recherche) « électronique » du plan d'investissement « France 2030 ».

Dans ce projet, la tâche du doctorant recruté ici sera double :

La première phase de ce travail de thèse vise la conception par LAAS de transistors de puissance 1200 V verticaux en lien avec les laboratoires CRHEA et CEA Leti, afin de définir l'empilement optimal des différentes couches épitaxiées GaN et de proposer des architectures de composants compatibles avec les moyens technologiques de ces deux laboratoires qui auront en charge la réalisation technologique desdits composants. Le projet visant la fabrication de composants purement verticaux, des structures bipolaires pourront également être évaluées par simulation en plus des structures unipolaires (FET, MOS).

Dans un second temps, des fonctions élémentaires (« senseFET », capteur de tension d'anode, utilisation du bipolaire parasite vertical, isolation et intégration de fonctions pour la commande rapprochée, etc.) seront ensuite développées pour aller vers une intégration de fonctions de puissance monolithique qui permet de tirer le meilleur parti des performances du matériau. En collaboration avec le laboratoire LAPLACE, la prise en compte de la commande rapprochée permettra une meilleure optimisation système composant-commande, notamment sur la spécification de la tension de seuil et le choix des compromis de conception.

Energy management is one of the greatest challenges our society will face in the 21st century. It is on this challenge that the research activities of the proposed subject are positioned; the design of new power switches is essential: it is necessary to minimize losses, to ensure better management of electrical energy, to increase performance (breakdown voltage, current rating, efficiency) and robustness by improving the intrinsic characteristics of semiconductor devices. Wide bandgap semiconductor materials such as gallium nitride (GaN) are suitable candidates to address this challenge.

To date, GaN devices are overwhelmingly lateral devices with AlGaN/GaN heterostructures. Although manufactured on large silicon substrates and therefore low cost, these devices exhibit many limitations:

low threshold voltages V_{TH} , limited breakdown voltage BV (< 1 kV) and in trade-off with power density, high dynamic on-resistances, etc. This is the reason why it is essential to manufacture vertical devices that can withstand high voltages (> 1 kV) while maintaining a small surface.

It is within this framework that the VERTIGO project, funded by the "electronic" PEPR (Priority Research Programs and Equipment) of the "France 2030" investment plan, fits.

In this project, the task of the doctoral student recruited here will be twofold:

The first phase of this thesis work aims at the design by LAAS of vertical 1200 V power transistors in connection with the CRHEA and CEA Leti laboratories, in order to define the optimal stacking of the different GaN epitaxial layers and to propose device architectures compatible with the technological means of these two laboratories which will be in charge of the technological realization of the said devices. As the project aims to manufacture purely vertical devices, bipolar structures can also be evaluated by simulation in addition to unipolar structures (FET, MOS).

In a second step, elementary functions ("senseFET", anode voltage sensor, use of the vertical parasitic bipolar, isolation and integration of functions for close control, etc.) will then be developed to go towards a monolithic integration of power functions that allow to make the most of the performance of the material. In collaboration with the LAPLACE laboratory, taking close control into account will allow better optimization of the "device-control" system, in particular on the specification of the threshold voltage and the choice of design compromises.

Lieu de travail : LAAS-CNRS, Toulouse

Date de début souhaitée : 1^{er} octobre 2023

Profil du candidat : il sera impliqué dans un travail théorique, essentiellement sur la physique du composant en utilisant le logiciel de simulation physique SENTAURUS de SYNOPSIS. En lien avec les 2 laboratoires CRHEA et CEA Leti qui fabriqueront les composants, il procédera par itérations du cycle d'optimisation afin d'améliorer les performances du composant. Le candidat recruté doit être très motivé par la recherche et avoir des bases solides en physique des semi-conducteurs et des composants. Il doit être autonome et avoir le sens du travail en équipe, être capable de communiquer en anglais (écrit et oral) et de synthétiser et présenter les résultats scientifiques.

École doctorale : ED 323 Génie Électrique, Électronique, Télécommunications et Santé (GEETS)

Université : Université de Toulouse

Directeur de thèse : Frédéric Morancho (morancho@laas.fr)

Laboratoire : LAAS-CNRS