

Spécialité : PHYSIQUE / Physique de la matière condensée

[Laboratoire : /SPEC/LENSIS](#)

L'interface ferroélectrique-Ga₂O₃ pour des applications dans l'électronique de puissance

Responsable de stage : BARRETT Nick

nick.barrett@cea.fr

Tel : +33 1 69 08 32 72

Stage pouvant se prolonger en thèse : Oui

Durée du stage : 5 mois

Résumé:

Le stage consistera en l'étude de la possibilité d'augmenter la gamme d'applications de Ga₂O₃ utilisant une couche ferroélectrique de HfO₂. La structure chimique et électronique de l'interface sera étudiée en XPS et en PEEM pour l'imagerie des domaines ferroélectriques.

Sujet :

Le Ga₂O₃ fait partie de la famille de semi-conducteurs à très grande bande interdite avec des performances potentiellement sans équivalent pour l'électronique de puissance grâce à un champ d'écroulement pouvant atteindre 8-12 MV/cm. La grande bande interdite permet le fonctionnement à haute tension et à températures élevées, rendant le Ga₂O₃ idéal pour des applications pour l'électronique de puissance dans des environnements hostiles ou exigeants. Malheureusement, le Ga₂O₃ ne peut pas être dopé type p. En conséquence, on ne peut réaliser que des dispositifs unipolaires. L'absence d'un dopage de type p, à cause d'une tendance d'auto-piégeage des trous [Varley2012] signifie que l'on ne peut pas réaliser des jonctions p-n et que des MOSFETs en mode d'enrichissement avec des applications pour des interrupteurs de puissance ne sont pas possibles.

Le stage consistera en une étude préliminaire de la possibilité d'augmenter la gamme de dispositifs à base de Ga₂O₃ par l'introduction d'une couche fonctionnelle à l'empilement. La ferroélectricité fournit une telle fonctionnalité avec deux états fondamentaux équivalents de polarisation électrique opposée, commutables sous un champ électrique externe. L'insertion d'une couche mince ferroélectrique, par définition isolante, entre l'électrode de Schottky et la couche de Ga₂O₃ dans un diode à barrière de Schottky (SBD) ou entre la grille et le canal dans un MOSFET à puissance fournirait deux états conducteurs.

Dans un SBD, la couche ferroélectrique limiterait les courants de fuite et le bias interne pourrait ajuster la tension de fonctionnement, réduisant la consommation d'énergie. Dans un MOSFET à base de Ga₂O₃, l'insertion d'une couche ferroélectrique entre la grille métallique et le canal pourrait décaler le mode de fonctionnement du transistor vers l'enrichissement, c'est-à-dire à V_{GS} = 0 le canal serait bloquant.

La nature robuste de la polarisation ferroélectrique et l'ajout d'un voltage interne dans l'empilement, pourraient alors étendre les modes de fonctionnement des dispositifs à deux et à trois terminaux.

Le stage étudiera la structure chimique et électronique de l'interface entre le HfO₂ ferroélectrique [Böschke2011] et une couche de Ga₂O₃ dopé type n, avec la spectroscopie des photoélectrons stimulés par les rayons X (XPS) et la microscopie d'électrons en photoémission (PEEM) pour imager les domaines ferroélectriques [Copie2017] dans le HfO₂.

Ce stage fait partie d'une collaboration entre le laboratoire de recherche de l'armée de l'air à Dayton, Ohio (USA) qui

fournira les échantillons.

[Varley2012] J.B. Varley et al., Physical Review B 85, 081109 (2012)

[Böschke2011] T. S. Böschke, J. Müller, D. Bräuhäus, U. Schröder, and U. Böttger, Applied Physics Letters 99 (2011)

[Copie2017] O. Copie et al., ACS Appl. Mater. Interfaces, 2017, 29311 (2017).

Ferroelectric-Ga₂O₃ interface for power electronics

Abstract:

The internship will be a preliminary study of the possibility to increase the range of Ga₂O₃ based devices using ferroelectric HfO₂. It will study the chemical and electronic structure of the interface using XPS and PEEM to image the ferroelectric domains.

Subject :

Ferroelectric-Ga₂O₃ interface for power electronics

Ga₂O₃ belongs to the family of ultra wide band gap semiconductors with potentially unrivalled performance in power electronics thanks to breakdown fields EBD up to 8-12 MV/cm. The high band gap allows operation at high voltages and elevated temperatures, making Ga₂O₃ ideally suited for power electronics applications in hostile or demanding environments.

Unfortunately, Ga₂O₃ cannot be readily p-doped. As a result, it can only be used to make unipolar devices. The absence of p doping, due to the tendency of hole self-trapping [Varley2012] means that Ga₂O₃ based p-n junctions do not exist and MOSFETs in enhancement mode with possible power switch applications are not possible.

The internship will be a preliminary study of the possibility to increase the range of Ga₂O₃ based devices by introducing an additional functional layer to the device stack. Ferroelectricity provides such a functionality with two equivalent ground states of opposite macroscopic electric polarization, switchable under an applied field. Insertion of a thin FE layer, by definition highly insulating, between the Schottky electrode and the Ga₂O₃ layer in a SBD or between the gate and the channel in a power MOSFET would provide two conducting states.

In a SBD the FE layer would limit leakage current and the internal bias of the FE could tune the operating voltage, reducing power consumption for mobile devices. In Ga₂O₃ MOSFETs the insertion of a FE layer between the metal gate and the channel could shift the transistor operating mode to enhancement, i.e. at VGS = 0 the channel would become non-conducting.

The robust nature of the FE polarization and hence the additional internal voltage in the gate stack, could therefore extend the operating modes of both two and three terminal devices.

The internship will consist of studying the chemical and electronic structure of the interface between ferroelectric HfO₂[Böschke2011] grown on doped Ga₂O₃ using X-photoemission spectroscopy (XPS) and photoemission electron microscopy (PEEM) to image the ferroelectric domains in HfO₂ [Copie2017].

This work is part of an ongoing collaboration with the Air Force Research laboratory in Dayton, Ohio (USA) who will supply the samples.

[Varley2012] J.B. Varley et al., Physical Review B 85, 081109 (2012)

[Böschke2011] T. S. Böschke, J. Müller, D. Bräuhäus, U. Schröder, and U. Böttger, Applied Physics Letters 99 (2011)

[Copie2017] O. Copie et al., ACS Appl. Mater. Interfaces, 2017, 29311 (2017).
