

ED Matériau

Sujet de thèse **École doctorale EEA de Lyon**

Merci de compléter l'ensemble des rubriques et de lire les notes de bas de page.

Etablissement d'inscription : INSA Lyon ¹
École doctorale : ED Matériaux
Intitulé du doctorat : [spécialité] ²
Sujet de la thèse : Etude des mécanismes de piégeage induit par les niveaux électroniques de défauts des technologies avancées dans le Ga ₂ O ₃ .
Unité de recherche : INL dirigée par Bruno Masenelli
Directeur/trice de thèse : M. Jean-Marie BLUET ;
Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant) ³ : M. Georges BREMOND
Co-directeur/trice de thèse en entreprise (le cas échéant) : [civilité, nom, prénom]

¹ A impérativement choisir dans la liste suivante : Ecole Centrale de Lyon, INSA de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1

² A impérativement choisir dans la liste suivante : Automatique // Electronique, Micro et Nano-électronique, Optique et Laser // Génie Electrique // Ingénierie pour le vivant Traitement du signal et de l'Image)

³ Un/une co-encadrant-e n'est pas nécessairement co-directeur/trice de thèse puisque pour remplir ce rôle, il est nécessaire d'être habilité à diriger des recherches (pour plus de précision, voir le règlement intérieur de l'ED EEA, section 3.

ED Matériau

Collaboration(s)/partenariat(s) extérieur(s) éventuels⁴ : Laboratoires du projet PRC GOPOWER (GEMaC, INSP, IC2N Espagne, Université de Swansea).

Domaine et contexte scientifiques :

Les composants électroniques à base de matériaux semi-conducteurs à grand gap (SiC, GaN) connaissent un essor considérable pour les applications en électronique de moyenne puissance (10 kV / 100 A) comme par exemple le secteur des automobiles hybrides/électriques. Au-delà de cette gamme de puissance, les enjeux d'une électronique permettant d'augmenter la densité de puissance et l'efficacité de commutation/conversion sont considérables du point de vue des enjeux énergétiques et de la réduction des émissions de CO₂ avec des applications notamment dans le domaine de la distribution du courant (smart grid) et des transports (ferroviaire). Pour répondre à ces exigences de puissance, il faut se tourner vers des matériaux dits à ultra grand gaps (UWBG) présentant des énergies de bande interdite (>4 eV) et des champs de claquage (>10 MV.cm⁻¹) appropriés comme le diamant, l'AlGa₂N ou le Ga₂O₃. Ce dernier, présente l'avantage unique de la disponibilité de substrats commerciaux de 150 mm de diamètre à coût raisonnable (3 fois moins cher que SiC). Un très fort challenge à relever pour les matériaux UWBG est le dopage. Ici encore Ga₂O₃ présente un grand intérêt étant donné que le dopage n peut être obtenu [1-3]. Des dispositifs de puissance unipolaire ont été démontrés avec un fonctionnement normally-on [4-6]. La brique technologique manquante pour des dispositifs de puissance normally off est le dopage de type p pour la réalisation de dispositifs bipolaires. Le développement d'une filière technologie innovante de dispositifs à base de Ga₂O₃ et le contrôle du dopage de type p nécessite l'étude des niveaux électroniques induit par des pièges ou défauts dans le matériau. Ces défauts peuvent aussi être induits par les procédés technologiques (implantations, gravures, contamination métalliques). C'est sur cet axe que le sujet portera. En effet, le laboratoire INL et l'équipe « Matériaux Fonctionnels » possèdent une véritable expertise originale sur les techniques électriques et électro-optiques d'étude des niveaux électroniques induits par les pièges et les défauts dans les semi-conducteurs à grand gap.

Mots-clefs : Ga₂O₃, Dopage p, Centres profonds, Spectroscopies de défauts, Composants de puissance.

Objectifs de la thèse :

L'objectif global est de caractériser les propriétés de défauts électriquement actifs dans les épitaxies de Ga₂O₃. Ces études seront menés dans un premier temps en support du laboratoire GeMaC chargé de la croissance du matériau de type p puis sur des structures verticales de type diodes pin afin d'améliorer la croissance et la technologie dans cette filière. On s'attachera plus particulièrement à identifier l'origine des défauts pour discerner les défauts dus à la croissance de ceux induits par les procédés technologiques. L'étude aura également pour but de corréliser les données de spectroscopie des défauts à des dysfonctionnements éventuels des dispositifs observés sur leurs caractéristiques électriques. La caractérisation des centre de type génération-recombinaison sera complété des mesures de durée de vie des porteurs minoritaires en photo-courant et de mesures d'électroluminescence sur les structures pin. Enfin les signatures des pièges (énergie

⁴ Hors contrats doctoraux fléchés UMI par l'établissement, les sujets de thèse en cotutelle ne sont pas acceptés.

ED Matériau

d'activation section efficace de capture) déterminées pourront servir de paramètres injectables pour la modélisation des composants.

Verrous scientifiques :

Mettre en place des techniques de caractérisation des défauts sur un matériau à très grande bande interdite (4.9 eV). En effet, la technique classique DLTS sera ici avantageusement complétée par des techniques optiques comme la DLOS et l'ODLOS permettant l'activation et l'observation de défauts très profonds.

Mesures de DLTS capacitive sous fort champ inverses sur les dispositifs pin.

Contributions originales attendues :

L'obtention du dopage p dans le Ga₂O₃ sera une avancée majeure pour le développement de cette filière. La caractérisation de ce matériau sera un élément clé de son obtention.

La corrélation attendue entre la caractérisation fine des défauts et les caractéristiques électriques des composants est également un défi original dans ce projet.

Programme de recherche et démarche scientifique proposée :

Le travail de thèse commencera par l'étude de DLTS des épitaxies de type n afin de caractériser les défauts de ce matériau puis à l'implémentation des extensions optiques (DLOS, ODLTS) nécessaire à l'étude du matériau UWBG. On appliquera ensuite ces techniques à l'étude du matériau de type.

Le travail de deuxième année et début de troisième consistera à étudier les structures pin avec comme objectif de corréler les défauts aux caractéristiques électriques (facteur idéalité par exemple) et de sérier les problèmes liés à la technologie et ceux liés au matériau. Ces résultats seront complétés par les mesures de photo-courant et d'électroluminescence.

Encadrement scientifique :

▪ Description du comité d'encadrement :

Nom Prénom	Labo / Equipe	Compétences scientifiques	Taux d'encadrement %
J.M Bluet	INL Matériaux INSA	Spectroscopie électro-optique (photo-courant, électrolum, DLTS)	60%
G Brémond	INL Matériaux INSA	Spectroscopie des défauts (DLTS et dérivés optiques)	40%

Les professeurs Bluet et Brémond sont tous les deux spécialistes des techniques de caractérisation de défauts par exploration de la zone de charge d'espace (DLTS capacitive, DLOS, DLTS courant, Dispersion en fréquence des conductances de sortie).

Jean-Marie Bluet a une expérience approfondie des matériaux à grand gap (SiC, GaN) sur lesquels il travaille depuis plus de vingt ans. Il a déjà encadré des thèses sur la caractérisation des défauts dans les composants à base de semi-conducteurs à grand gap (MESFETs SiC, HEMTs RF GaN).

ED Matériau

Georges Brémond a une grande expertise de la caractérisation des défauts électriquement dans le semi-conducteurs acquise au cours d'études sur différentes filières de matériaux (TBH Si, SiGe, HEMTs III-V).

Financement de la thèse : Contrat doctoral de l'établissement d'inscription

Profil du candidat recherché (prérequis) :

Mastère avec une spécialisation en physique des matériaux semi-conducteurs.

Volonté de s'impliquer dans un projet collaboratif entre le monde académique et les requis de développement industriel d'une filière technologique.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche :

Publications dans les revues associées au domaine c'est à dire soit des journaux généraliste de physique appliquée de type APL, soit des journaux plus spécialisés sur les composants électroniques de type IEEE TED.

Présentation des travaux à des conférences généralistes sur les semi-conducteurs et les défauts (ICPS, ICDS, EXMATEC) et spécialisées dans le domaine (IWGO).

Extraction de signatures de pièges pouvant être utilisées dans les modèles compacts de composants.

Compétences qui seront développées au cours du doctorat :

Perspectives professionnelles après le doctorat : Le doctorat pourra ouvrir aussi bien à la poursuite d'une activité de recherche dans le monde académique qu'à une insertion dans l'industrie. La filière nitrure pour l'électronique de puissance se développe en effet très rapidement au niveau industriel par exemple à ST-Tours au niveau national.

Références bibliographiques sur le sujet de thèse : [à compléter]

- [1] M. Orita et al., *Appl. Phys. Lett.* **77** (2000) 4166
- [2] N. Ueda et al., *Appl. Phys. Lett.* **70** (1997) 3561
- [3] E. Chikoidze, et al, *J. Appl. Phys.* **120** (2016) 025109.
- [4] J. Yang et al., *ECS J. Solid State Sci. Technol.* **7**, (2018)
- [5] S. J. Pearton, et al., *J. Appl. Phys.* **124** (2018) 220901
- [6] K. Tetzner e., *IEEE Electron Dev. Lett.* **40** (2019) 1503

