



**HAL**  
open science

## Caractérisation de la diode d'un transistor HEMT en GaN sous illumination UV

Alexis Divay, O. Latry, Cédric Duperrier, Farid Temcamani

► **To cite this version:**

Alexis Divay, O. Latry, Cédric Duperrier, Farid Temcamani. Caractérisation de la diode d'un transistor HEMT en GaN sous illumination UV. TELECOM'2015 & 9èmes JFMMA, May 2015, Meknes, Maroc. hal-01230931

**HAL Id: hal-01230931**

**<https://hal.science/hal-01230931>**

Submitted on 19 Nov 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Caractérisation de la diode d'un transistor HEMT en GaN sous illumination UV

A. Divay<sup>(1)</sup>, O. Latry<sup>(1)</sup>, C. Duperrier<sup>(2)</sup>, F. Temcamani<sup>(3)</sup>

(1) Normandie Université, Université de Rouen, Groupe de physique des Matériaux CNRS UMR 6634, 76801 Saint Etienne du Rouvray, France. Email : [olivier.latry@univ-rouen.fr](mailto:olivier.latry@univ-rouen.fr)

(2) Université de Cergy, ETIS, CNRS UMR 8051, ENSEA, 6 Avenue du Ponceau, 95000 Cergy-Pontoise, France

(3) ECS-Lab, ENSEA, 6 Avenue du Ponceau, 95000 Cergy-Pontoise, France

### Résumé:

La technologie HEMT (High Electron Mobility Transistor) en Nitrure de Gallium est prometteuse pour le fonctionnement radiofréquence. Cependant, le manque de retour d'expérience sur cette technologie récente pose des questions sur sa fiabilité. La caractérisation de la grille (diode Schottky) de ce type de transistors permet de mettre en évidence d'éventuelles modifications physiques de grille au cours de son vieillissement. Cependant, les phénomènes de piégeage viennent perturber ces caractérisations. Des analyses avec et sans éclairage UV permettent de dissocier le comportement de la diode de celui des pièges situés au voisinage de la grille. Plusieurs caractéristiques IV de diodes sur ce type de composants sont donc mesurées sous différentes conditions d'éclairage et de température, de manière à obtenir des informations sur l'impact des phénomènes de piégeage observables sur ce type de jonctions.

**Mots clés:** HEMT, GaN, Schottky, pièges.

### 1. INTRODUCTION

La technologie des transistors à haute mobilité électronique en nitrure de gallium (HEMT GaN) est très prometteuse pour les applications hyperfréquences. Elle permet notamment une forte densité de puissance [1] grâce à une forte tension maximum et une bonne gestion thermique. Cependant cette technologie reste très récente, d'où certains problèmes de maturation de la technologie : Les matériaux du transistor comportent des défauts pouvant piéger des électrons pour les relâcher après un certain temps dépendant de la température, résultant en un « effet mémoire » avec des retards de courant. Le manque de retour d'expérience sur la fiabilité de ces composants est aussi un frein à la commercialisation de cette technologie. Des tests de vieillissement sont donc menés pour estimer leur durée de vie.

L'un des indicateurs de santé de ce type de composant est son état physique de grille. En effet, cette jonction métal-semiconducteur est l'une des parties les plus sensibles au cours du vieillissement [2]. Des inter-diffusions de métaux peuvent avoir lieu pendant les sollicitations du transistor (effets thermiques notamment), qui vont modifier les paramètres physiques de la jonction : La hauteur de barrière  $\phi_b$  (eV), le coefficient d'idéalité  $n$ , ainsi que les paramètres physiques correspondant aux autres phénomènes de conduction (tunnel, génération-recombinaison, etc...).

Cette caractérisation I-V-T est néanmoins sujette aux effets parasites tels que les pièges [3]. Ceux-ci vont altérer les valeurs de paramètres extraits. Après une explicitation des phénomènes de piégeage, des mesures sous différents protocoles et sous illumination UV sont présentées dans ces travaux. Ceci permet de mettre en évidence les effets parasites dans les mesures de diode sur ce genre de transistors et leur effet pendant le vieillissement.

## 2. LES PHENOMENES DE PIEGEAGE

La technologie des transistors HEMTs en nitride de gallium étant encore peu mature, des phénomènes de piégeage vont perturber leur bon fonctionnement. Les techniques de dépôt des couches de matériau demandant du temps avant d'être mises au point, des défauts au sein de celles-ci (dislocations, états d'interfaces, etc...) vont pouvoir piéger des électrons du canal, pour les relâcher après un certain temps. Cet intervalle appelé constante de temps dépend fortement de la température suivant une loi en Arrhénius [4] :

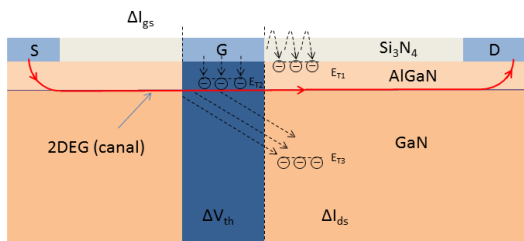
$$\frac{1}{\tau} = e_n = \delta_n T^2 \sigma \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (1)$$

Avec :

$$\delta_n = \frac{4\pi\sqrt{6}\pi^2 k^2 m_n^*}{h^3} \quad (2)$$

Cette relation relie la température avec le taux d'émission de chaque piège ( $e_n$ ) ou leur constante de temps  $\tau$  en secondes. Dans ces équations,  $k$  est la constante de Boltzmann,  $h$  est la constante de Planck,  $\sigma$  représente la section de capture du piège ( $\text{cm}^2$ ),  $T$  est la température en Kelvin,  $E_a$  est l'énergie d'activation du piège (eV). Enfin,  $m_n^*$  est la masse effective des électrons dans le GaN. Les valeurs de  $\sigma$  et  $m_n^*$  sont estimés constantes avec la température.

Ainsi, la constante de temps des pièges va diminuer avec la température car ceux-ci ont plus d'énergie pour se libérer du défaut. Ces pièges sont généralement localisés en surface de l'AlGaN, au niveau des coins de grille, notamment du côté du drain (figure 1) et plus en profondeur dans le GaN.

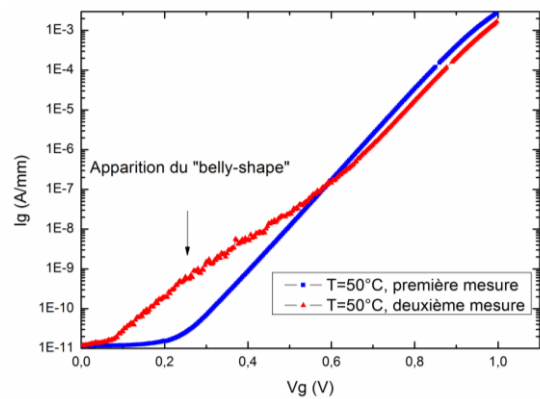


**Figure 1.** Localisations principales des pièges au sein des transistors HEMT GaN.

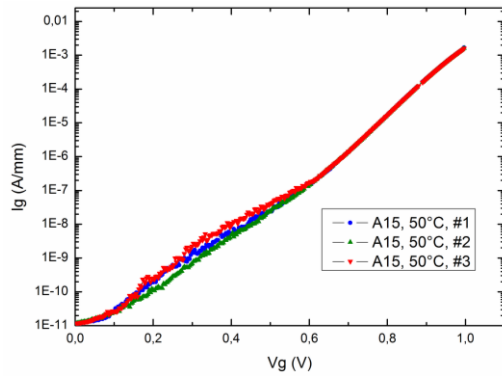
## 3. RESULTATS

### 3.1 Mesures de diode classiques

Les mesures de diode ont été effectuées sur des HEMTs 25W en nitride de gallium (0.5  $\mu\text{m}$  de longueur de grille et 8mm de développement) à l'aide d'un mesureur très faible courant Keithley 2636B, dans le cadre d'une méthodologie de vieillissement. Lors de cette campagne, un phénomène de ventre sur les courbes I-V appelé « belly-shape » [3] est apparu sur la partie à faible tension des caractéristiques de certains composants (figure 2). Cette distorsion de la courbe peut apparaître au bout de plusieurs mesures successives (généralement une ou deux), mais ne concerne pas tous les composants neufs ou en cours de vieillissement. Ce phénomène de « belly-shape » a été observé dans la littérature après un vieillissement de type High Temperature Reverse Bias (HTRB) [3]. L'origine présumée de ce phénomène semble être du courant de fuite latéral assisté par les pièges. Des mesures successives sur un composant neuf et présentant un « belly-shape » se sont montrées non-reproductibles sur cette zone (figure 3). En ce qui concerne la partie thermoionique, les courbes comportant un « belly-shape » montrent une bonne reproductibilité ( $V_{gs} > 0.5\text{V}$ ). Il semble donc difficile de mesurer les paramètres physiques correspondant à la zone perturbée à faible tension (différents des paramètres extraits dans la zone thermoionique). Cette étude se portera principalement sur l'effet des pièges dans l'allure de la caractéristique de diode de ces transistors et l'évolution de cet effet au cours d'un vieillissement.



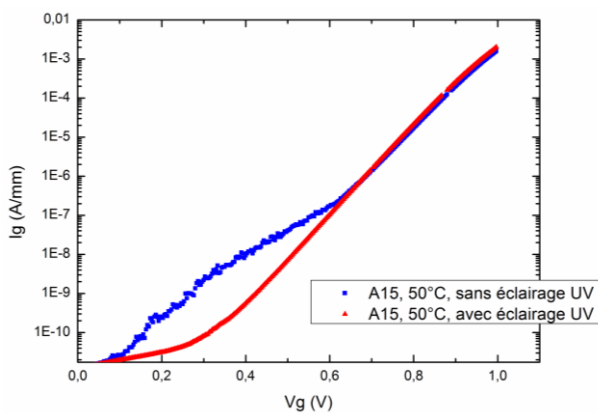
**Figure 2.** Apparition d'un « belly-shape » au cours d'une mesure de diode sur un transistor HEMT GaN.



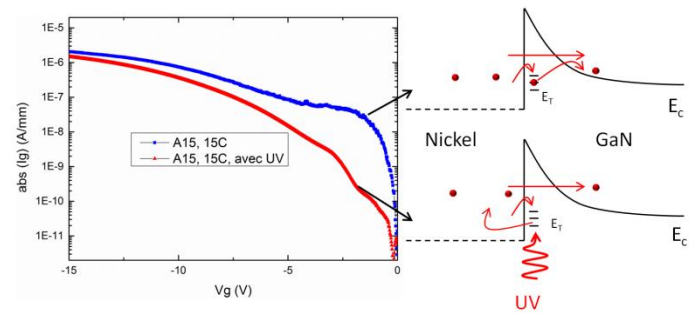
**Figure 3.** Mesures successives sur un composant. La partie thermoïonique est reproductible, à l'inverse de la partie présentant des phénomènes de piégeage.

### 3.2 Investigations sur le phénomène

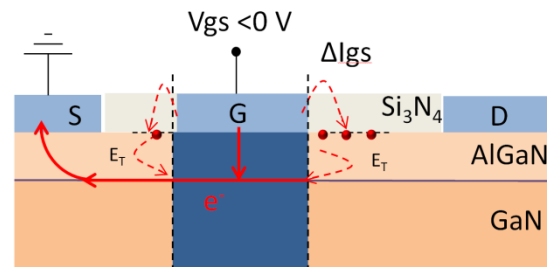
L'une des manières de s'affranchir des effets de piégeage est l'illumination sous UV. En effet, l'énergie des photons UV est suffisante pour exciter les électrons situés dans des niveaux profonds au sein du GaN et de l'AlGaN : L'énergie des photons UV est entre 6.2 et 3.1 eV alors que le gap du GaN est de 3.43 eV. Le couvercle céramique du composant a donc été retiré de manière à exposer la puce. Une lampe UV a été utilisée pour éclairer le composant avant et pendant la mesure (figures 4). Il en est de même pour la mesure en mode inverse, où ce phénomène est visible à faible  $V_{gs}$  (figure 5). Il apparaît très clairement que le « belly-shape » disparaît sous éclairage à haute énergie, corroborant l'hypothèse du courant de fuite assisté par piégeage. En effet, lorsque les pièges sont constamment éclairés, ceux-ci ne peuvent pas participer au courant de fuite. La caractéristique IV sera donc plus basse dans la partie où le courant de fuite est normalement prédominant. Le mécanisme de fuites est explicité sur la figure 6.



**Figure 4.** Mesure IV de diode avec et sans éclairage UV. Le lien entre « belly-shape » et les phénomènes de piégeage est donc clairement défini.



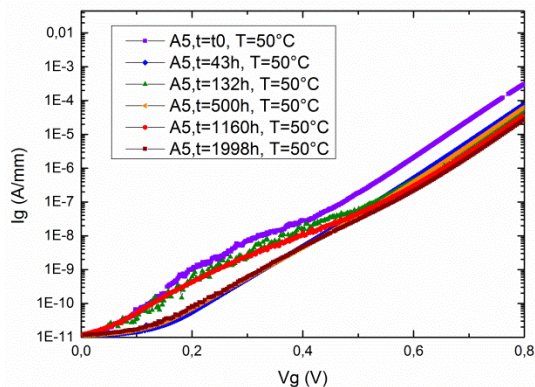
**Figure 5.** Effet de l'éclairage UV sur la caractéristique en inverse et interprétation du courant de fuites à l'aide de diagrammes de bandes.



**Figure 6.** Visualisation du courant de fuites assisté par pièges en mode inverse.

Cependant, dans une méthodologie de vieillissement, il n'est pas possible d'enlever le boîtier du composant car cela va changer les caractéristiques thermiques de l'ensemble. Il est donc difficile de s'affranchir de cet effet sans décapsulation. La mesure de diode au cours du vieillissement (mesure de reprise) permet néanmoins de mesurer un changement de la hauteur de barrière [5,6] et d'observer l'évolution de ce courant de fuite au cours du temps.

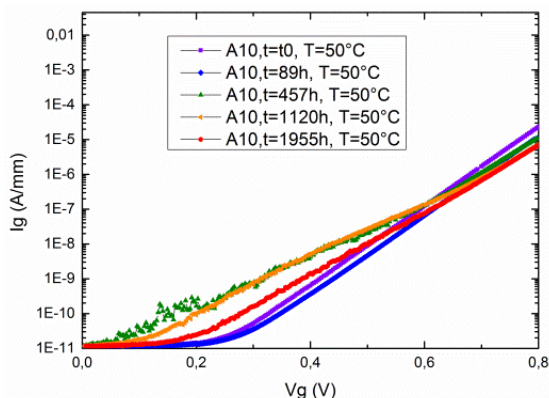
Les caractéristiques de diode de plusieurs composants ont été mesurées à trois températures (35°C, 50°C et 80°C) au cours des mesures de reprise pendant leur vieillissement de type RF life-test. Parmi ces six composants, deux d'entre eux présentent ce type de phénomène parasite. Pour le premier, le « belly-shape » n'augmente ni ne diminue pas strictement au cours du vieillissement. En effet, présent à l'état initial, celui-ci semble apparaître par intermittence au cours du vieillissement (figure 7). Cet effet est corroboré avec des mesures à 35°C, à 80°C le « belly-shape » est moins prononcé pour celui-ci.



**Figure 7.** Mesure IV de diode (mesures de reprises) pendant un vieillissement accéléré radiofréquence. Le phénomène de « belly-shape » apparait par intermittence.

Le deuxième composant présente une caractéristique exempte d'effets parasites à l'état initial. Cependant, le « belly-shape » apparait au bout d'environ 500h de vieillissement pour diminuer jusqu'à 2000h (figure 8). La suite des mesures de reprises pendant le vieillissement (jusqu'à 6000h) permettra de valider cette tendance.

À la fin du vieillissement, ces composants seront analysés en microscopie à émission de photons en face arrière afin de localiser d'éventuels défauts. Enfin, une analyse de défaillance complète sera conduite pour observer les modifications topologiques des composants jusqu'à l'échelle atomique et ainsi caractériser les mécanismes de dégradation intervenant au cours du vieillissement.



**Figure 8.** Mesure IV de diode (mesures de reprises) pendant un vieillissement accéléré radiofréquence. Le phénomène de « belly-shape » apparait au bout de 500h puis diminue.

## CONCLUSION

L'effet des phénomènes de piégeage sur des caractéristiques de diode Schottky au sein de transistors HEMTs GaN a été observé. Un phénomène en particulier a été étudié : Le « belly-

shape ». Des mesures successives ont montrées que ce courant parasite n'est pas complètement reproductible mais permet quand même l'extraction de paramètres thermoioniques, cette partie de courbe à plus forte tension restant inchangée.

Des mesures sous éclairage UV ont permis de montrer que ce phénomène est bien dû à des phénomènes de piégeage, corroborant l'hypothèse du courant de fuite assisté par pièges.

En plus d'apparaître au cours de vieillissement HTRB [3], ce phénomène peut apparaître à l'état initial et au cours de vieillissement RF-life test. Son comportement au cours du temps est différent selon les composants qui comportent cet effet, que ce soit une apparition puis diminution de son intensité ou son apparition intermittente.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la direction générale de l'armement (DGA) et la région Haute Normandie pour leur soutien financier.

## RÉFÉRENCES

- [1] Wu, M. Moore, A. Saxler, T. Wisleder, and P. Parikh, "40-W/mm Double Field-plated GaN HEMTs," in 2006 64th Device Research Conference. IEEE, Jun. 2006, pp. 151–152.
- [2] J. B. Fonder, L. Chevalier, C. Genevois, O. Latry, C. Duperrier, F. Temcamani, and H. Maanane, "Physical analysis of schottky contact on power AlGaIn/GaN HEMT after pulsed-RF life test," *Microelectronics Reliability*, vol. 52, no. 9-10, pp. 2205-2209, Sep. 2012.
- [3] L. Brunel, B. Lambert, P. Mezenge, J. Bataille, D. Floriot, J. Grünenpütt, H. Blanck, D. Carisetti, Y. Gourdel, N. Malbert, A. Curutchet, and N. Labat, "Analysis of schottky gate degradation evolution in AlGaIn/GaN HEMTs during HTRB stress," *Microelectronics Reliability*, vol. 53, no. 9-11, pp. 1450-1455, Sep. 2013.
- [4] J. Osaka, Y. Ohno, S. Kishimoto, K. Maezawa and T. Mizutani, "Deep Levels in *n*-Type AlGaIn Grown by Hydride Vapor-Phase Epitaxy on Sapphire Characterized by Deep-Level Transient Spectroscopy," *Applied Physics Letters*, Vol. 87, 2005, pp. 222112-1-222112-3.
- [5] J.-B. Fonder, O. Latry, C. Duperrier, M. Stanislawiak, H. Maanane, P. Eudeline, F. Temcamani, Compared deep class-AB and class-B ageing on AlGaIn/GaN HEMT in S-Band pulsed RF operating life, *Microelectronics Reliability*, Volume 52, Issue 11, November 2012, Pages 2561-2567, ISSN 0026-2714
- [6] Singhal S, Li T, Chaudhari A, Hanson AW, Therrien R, Johnson JW, et al. Reliability of large periphery GaN-on-Si HFETs. *Microelectronics Reliability* 2006;46(8):1247–53.