



HAL
open science

Variation de la résistance de contact métal/semi-conducteur dans une structure HEMT GaN sous illumination UV

Dany Hachem, David Trémouilles, Frédéric Morancho, Gaetan Toulon

► **To cite this version:**

Dany Hachem, David Trémouilles, Frédéric Morancho, Gaetan Toulon. Variation de la résistance de contact métal/semi-conducteur dans une structure HEMT GaN sous illumination UV. Symposium de Génie Electrique, Université de Lorraine [UL], Jul 2018, Nancy, France. hal-02981923v1

HAL Id: hal-02981923

<https://hal.science/hal-02981923v1>

Submitted on 28 Oct 2020 (v1), last revised 13 Jul 2018 (v2)

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.

Variation de la résistance de contact métal/semi-conducteur dans une structure HEMT GaN sous illumination UV

Dany HACHEM¹, David TRÉMOUILLES¹, Frédéric MORANCHO¹, Gaëtan TOULON²

¹LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, Toulouse, France

²EXAGaN, 38040 Grenoble Cedex 9 (France)

RESUME – Malgré la potentialité des composants de puissance HEMT en nitrure de gallium dans le domaine de l'électronique de puissance, de nombreux problèmes de fiabilité limitent encore les performances électriques théoriquement atteignables et nécessitent donc un effort d'analyse et de compréhension. La caractérisation de la résistance à l'état passant de ces transistors est nécessaire pour comprendre la dynamique de certains phénomènes tels que le piégeage. La dégradation de cette résistance a été toujours attribuée au piégeage dans le canal 2DEG, sans tenir compte des contributions possibles des contacts source et drain (métal/semi-conducteur). Dans ce travail, des mesures de résistance, avec et sans illumination UV, sont effectuées sur deux options technologiques différentes pour mettre en évidence l'effet de l'illumination sur les résistances de contact de certains procédés technologiques.

Mots-clés — HEMT, GaN, piégeage, résistance à l'état passant, contact métal/semi-conducteur, TLM, illumination UV.

1. INTRODUCTION

Les transistors à haute mobilité électronique (HEMT) à base de nitrure de gallium (GaN) sont des dispositifs très prometteurs pour les applications de puissance grâce aux excellentes propriétés de ce matériau (champ électrique critique élevé, mobilité élevée des électrons dans le canal bidimensionnel (2DEG) et température de fonctionnement maximale élevée) qui permettraient d'obtenir des interrupteurs haute tension, haute température, haute fréquence et faibles pertes [1]. Par contre, certains phénomènes restent obscurs notamment les problèmes de piégeage qui affectent la dynamique de la résistance à l'état passant du composant et nécessitent encore un effort d'analyse et de compréhension. Les phénomènes de piégeages peuvent être révélés par une excitation lumineuse ou électrique [2]. Il a été montré que sous l'éclairage UV, la conductivité du 2DEG dans les HEMTs AlGaIn/GaN augmente et un changement dans le courant de drain peut être observé en fonction de l'illumination. Plusieurs études [3,4] ont lié l'augmentation de la conductance du canal 2DEG au changement de l'état de charge au niveau de la surface. D'autres recherches [4,5] ont considéré l'absorption dans la couche buffer de GaN, mais les mécanismes de transport de trous photo-générés dans cette région ne sont pas expliqués. De plus, il a été montré que l'absorption de photons UV ayant une énergie supérieure à la bande interdite de l'AlGaIn et le gain résultant est due à la génération de «

photovoltages » (séparation électrons-trous) entre la surface et le canal et l'interface buffer/substrat et le canal [6]. À notre connaissance, tous les articles publiés, qui traitent de l'évolution dynamique de la résistance à l'état passant, se contentent d'expliquer l'effet en considérant seulement la variation de résistance du canal 2DEG et en négligeant l'effet de la résistance des contacts source et drain (S/D). Dans ce travail, nous étudions les phénomènes de piégeage sous excitation UV en considérant à la fois la résistance du canal 2DEG et les résistances de contact S/D. Dans ce but, nous proposons une méthode de mesure TLM « Transmission Line Method » pour caractériser la contribution des contacts S/D.

Dans un premier temps, nous rappelons les principes de la méthode TLM. Ensuite, nous expliquons le choix de la longueur d'onde utilisée durant nos mesures. Nous développons ainsi la méthode d'extraction de la résistance de contact à partir de la caractérisation électrique. Les mesures des résistances ont été effectuées dans l'obscurité et sous illumination UV sur deux options technologiques différentes.

2. CARACTERISATION DES CONTACTS PAR LA METHODE TLM

La méthode TLM est une méthode de caractérisation des résistances spécifiques de contact métal/semi-conducteur [7]. La Figure 1 schématise un motif de test TLM droit isolé. Ce motif est composé de plusieurs contacts métal/semi-conducteur de mêmes dimensions mais espacés de différentes distances. De plus, la Figure 1 montre la modélisation de la résistance mesurée entre deux contacts consécutifs.

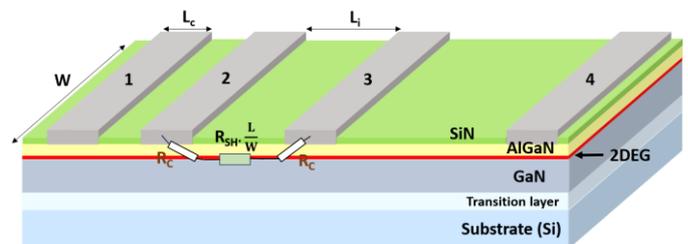


Fig. 1. Coupe schématique d'un motif de caractérisation TLM droit et modélisation de la résistance mesurée entre deux contacts consécutifs.

Nous considérons ici que cette résistance (notée R_T) est la somme des résistances des deux contacts (supposées égales et notées R_C) et de la résistance du canal 2DEG confiné entre les deux semi-conducteurs (notée R_{SH}).

$$R_T = \frac{R_{SH}}{W}L + 2R_C \quad (1)$$

3. CHOIX DE LA LONGUEUR D'ONDE UTILISEE

La longueur d'onde centrale de la LED UV utilisée est de 393 nm (correspondant à une énergie de photons de 3,16 eV). La Figure 2 présente le spectre d'émission de cette LED et montre que l'énergie de photon correspondante est inférieure à l'énergie de bande interdite du GaN, du SiN et de l'AlN (respectivement en rouge, violet et vert sur la Figure 2). La lumière utilisée n'affecte donc que les pièges présents dans ces matériaux et ne permet pas la génération directe de paires électron-trou. Par conséquent, nous pouvons obtenir des informations liées au phénomène de résistance dynamique dont souffrent les structures HEMT en GaN. Le dispositif testé a également été exposé à une lampe blanche associée à un monochromateur. L'évolution de la résistance en fonction du temps après illumination pour différentes longueurs d'onde est illustrée à la Figure 3. L'illumination est appliquée à $t = 10$ s pour les différentes longueurs d'onde. Nous pouvons observer une diminution de la résistance même avec des longueurs d'onde supérieures à 393 nm (c'est-à-dire une énergie de photon très inférieure au band-gap).

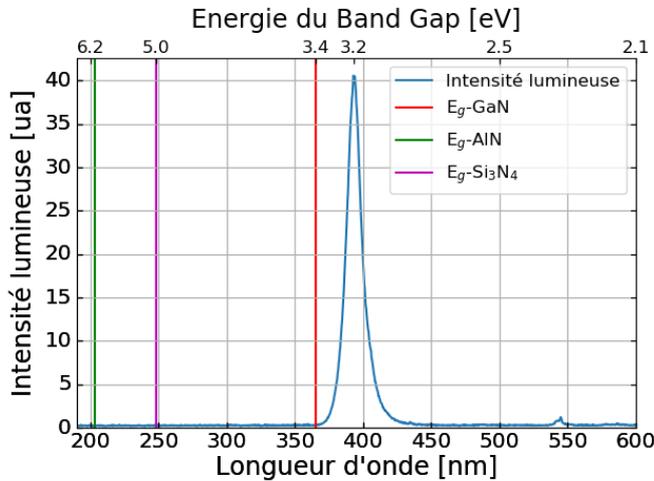


Fig. 2. Spectre d'émission de la lumière LED UV utilisée (bleu), énergie de bande interdite correspondante de : GaN (rouge), AlN (vert), Si₃N₄ (violet).

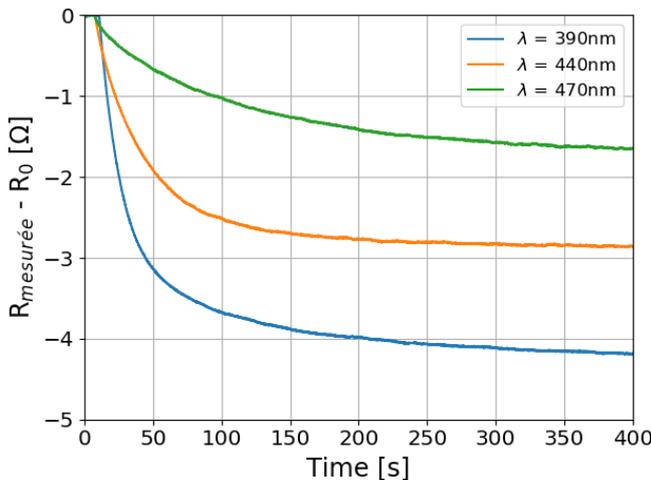


Fig. 3. Variations de la résistance mesurée en fonction du temps à plusieurs longueurs d'onde. R_0 représente la résistance mesurée dans l'obscurité. $V_{TLM} = 200$ mV, $T = 25$ °C, sous un éclairage dans l'ordre de $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

4. EXTRACTION DE LA RESISTANCE DE CONTACT

Dans cette partie, nous présenterons le principe d'extraction des résistances de contact à partir de la caractérisation électrique et la comparaison des résultats obtenus sur deux options technologiques différentes.

4.1. Méthode d'extraction

L'application d'une tension entre deux contacts consécutifs et la mesure du courant qui en résulte permettent de connaître la résistance entre ces deux contacts. Cette résistance doit être extraite dans la zone linéaire de la caractéristique courant-tension correspondante. Par conséquent, la tension appliquée doit être choisie dans la partie linéaire de la caractéristique I-V. La tension utilisée dans toutes nos mesures est de 500 mV.

La Figure 4 représente un exemple de variation du courant mesuré en fonction du temps ; avant, durant et après illumination UV. De plus, cette figure montre les parties de la courbe utilisées pour extraire les valeurs des deux résistances, en noir et sous illumination UV, pour une distance L_i donnée. L'échantillon est exposé à l'UV pendant 50 s (de $t = 60$ s à $t = 110$ s). Il est toutefois nécessaire d'attendre un temps suffisant (de plusieurs centaines à quelques milliers de secondes), avant de commencer la mesure afin que le courant se stabilise.

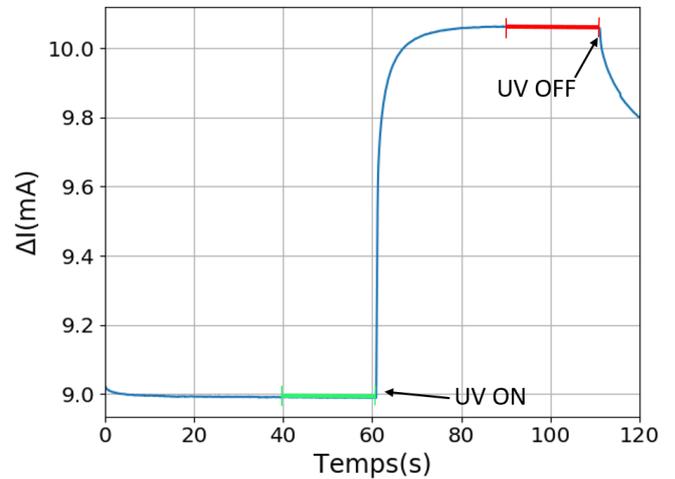


Fig. 4. Exemple montrant les parties, de la courbe variation du courant en fonction du temps, utilisées pour calculer les deux résistances en noir (barre verte) et sous illumination UV (barre rouge), sous un éclairage dans l'ordre de mW/cm^2 .

Une fois les résistances R_i entre contacts consécutifs calculées, il est possible de tracer la courbe d'évolution de ces résistances en fonction des distances L_i , quelle que soit la condition expérimentale du test (dans l'obscurité ou sous exposition aux rayons UV). Les résultats de mesures sur plusieurs échantillons sont présentés ci-dessous.

4.2. Résultats des mesures

La Figure 5 donne les résultats de l'extraction des résistances obtenues avec l'option technologique A, sur trois échantillons issus du même lot technologique.

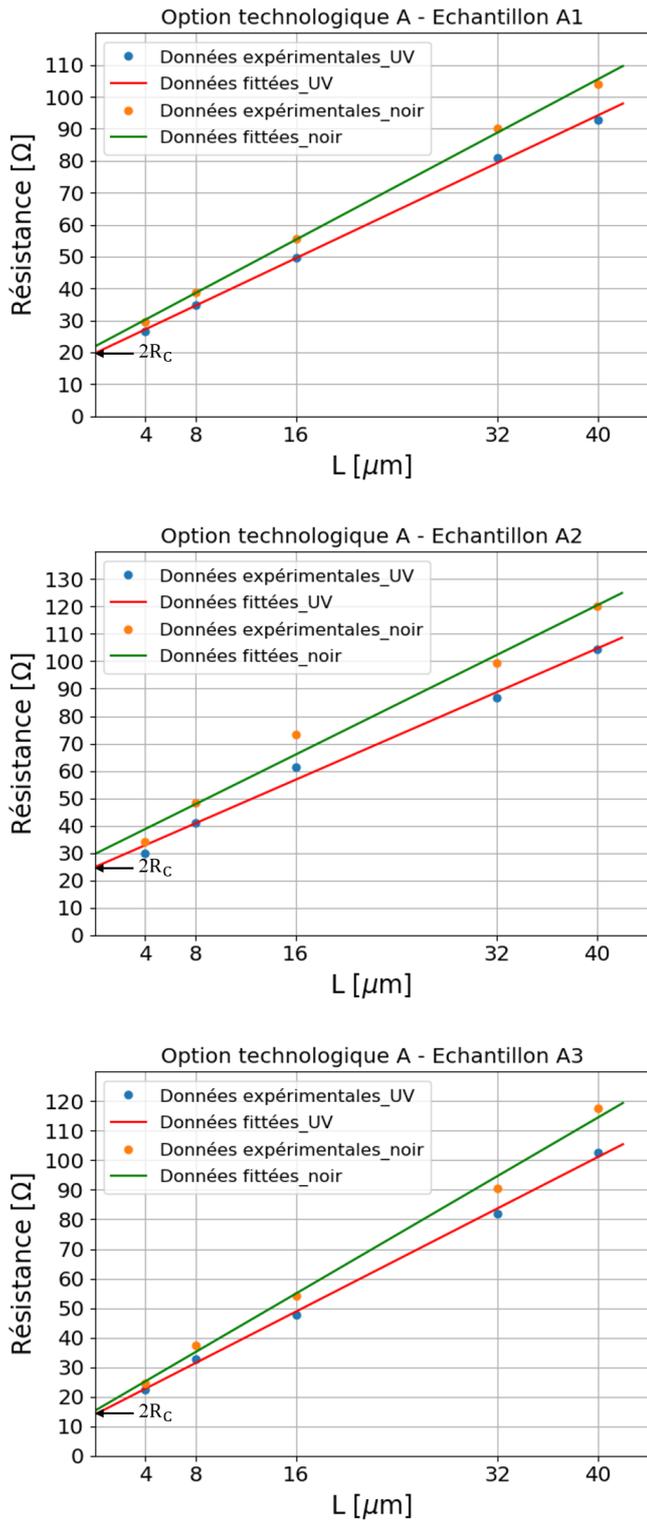


Fig. 5. Caractéristiques $R(L)$ extraites, pour 3 échantillons, avec l'option technologique A.

Les points orange et bleus représentent les résistances totales pour les différentes distances, extraites respectivement dans l'obscurité (noir) et sous rayons ultraviolet (UV). Les droites verte et rouge correspondent à l'ajustement linéaire des points orange et bleus respectivement. Le prolongement des deux droites obtenues permet donc de déterminer la résistance entre deux contacts séparés par une distance nulle ($L_1 = 0$). Les

deux valeurs trouvées sont ensuite divisées par deux pour obtenir la résistance d'un contact.

Nous avons mené les mêmes mesures sur une structure géométriquement identique mais réalisée avec un procédé technologique différent (changement d'épitaxie et du procédé de fabrication). Une représentation de la valeur des résistances mesurées en fonction de la distance entre les électrodes est présentée dans la Figure 6.

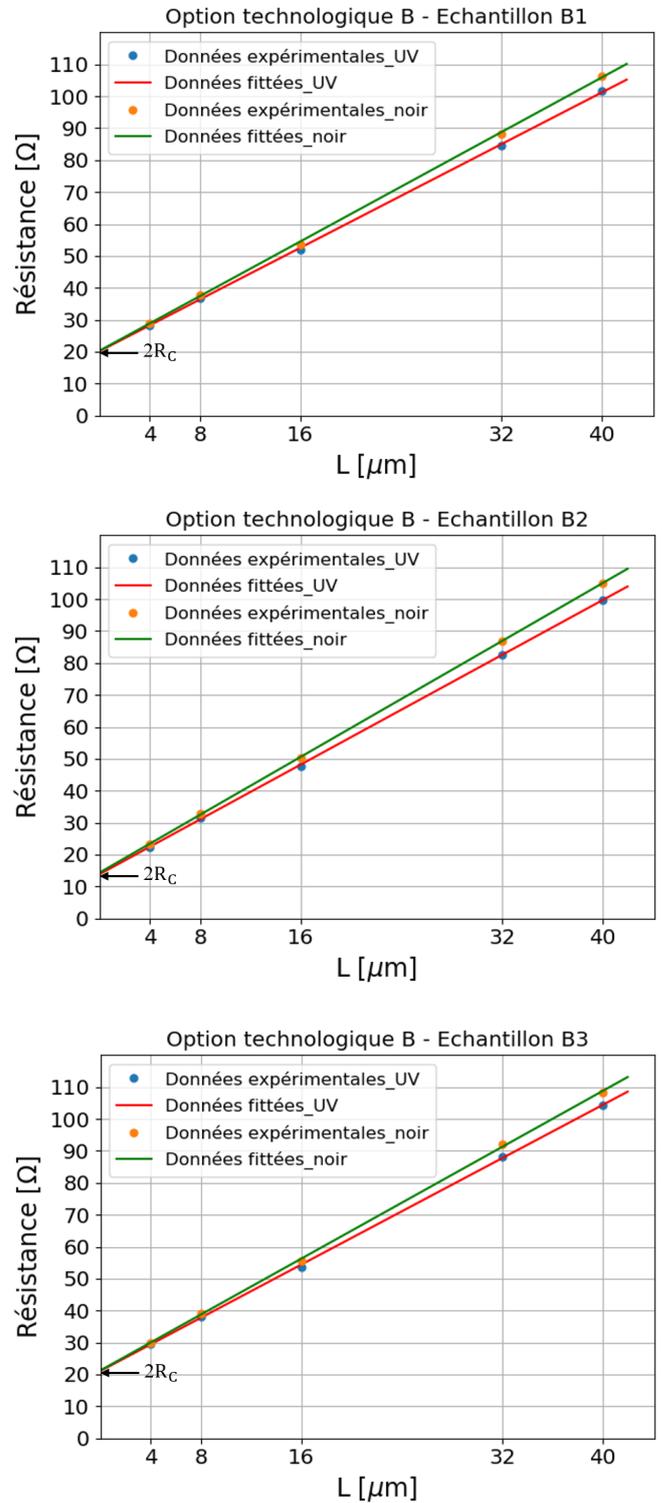


Fig. 6. Caractéristiques $R(L)$ extraites, pour 3 échantillons, avec l'option technologique B.

4.3. Comparaison des deux options technologiques

L'histogramme de la figure 7 résume les valeurs des résistances de contact extraites des caractéristiques $R(L)$, avec et sans illumination UV pour trois échantillons de chaque option technologique. Avec l'option technologique A, on constate que la différence entre les valeurs des résistances de contact, avec et sans illumination UV, est de $12 \pm 4\%$. Cette différence est beaucoup plus grande que celle obtenue avec l'option technologique B ($0,7\%$), pour laquelle l'effet de l'UV est négligeable sur R_c .

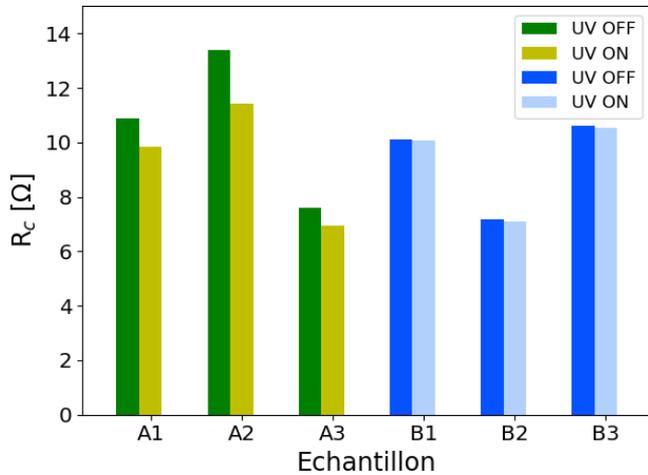


Fig. 7. Histogramme montrant la variation de la résistance de contact des deux options technologiques, avec et sans illumination UV.

5. CONCLUSIONS

L'influence de l'illumination UV sur les résistances de contact métal/semi-conducteur, sur des structures HEMT en GaN, a été observée grâce à l'extraction soignée des valeurs de résistance à partir des caractéristiques électriques. L'effet de

l'UV sur les résistances de contact est plus marqué sur une option technologique (option A) que sur une autre (option B), démontrant que, pour certains procédés technologiques, la résistance de contact est sensible à l'éclairement sous UV.

Finalement, ces résultats laissent supposer que la dynamique de la résistance à l'état passant peut-être due non seulement à des pièges dans le canal 2DEG mais aussi à des phénomènes de piégeage au niveau des contacts ohmiques.

6. REMERCIEMENTS

Ce travail a été soutenu par le LABEX GaNeX et la plateforme de caractérisation du LAAS-CNRS.

7. REFERENCES

- [1] M. Meneghini et al., « Trapping and reliability assessment in D-mode GaN-based MIS-HEMTs for power applications », IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 29, N°5, pp. 2199–2207, May 2014.
- [2] T. Mizutani et al., « A study on current collapse in AlGaIn/GaN HEMTs induced by bias stress », IEEE Trans. Electron Devices 50, 2015 (2003).
- [3] R. Vetury et al., « The impact of surface states on the DC and RF characteristics of AlGaIn/GaN HFETs », IEEE Trans. Electron Devices 48, 560 (2001).
- [4] Y-C. Chang, « Effects of illumination on the excess carrier dynamics and variations of the surface states in an AlGaIn/GaN heterostructure », J. Appl. Phys., vol. 107, no. 3, pp. 033706-1–033706-7, Feb. 2010
- [5] Y. Huang et al., « Photocurrent characteristics of two-dimensional electron-gas-based AlGaIn/GaN metal-semiconductor-metal photodetectors », Appl. Phys. Lett., vol. 96, no. 24, pp. 243503-1–243503-3, Jun. 2010.
- [6] H. Zaidi et al., « Highly sensitive UV detection mechanism in AlGaIn/GaN HEMTs », IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 60, N°9, September 2013.
- [7] W. Shockley et al., « Research and investigation of inverse epitaxial UHF power transistors », Air Force Atomic Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, USA A1-TOR-64-20, 1964.