

Mesure de résistance dynamique de HEMT en GaN à l'échelle de la centaine de nanosecondes

E. Marcault^{a,b}, D. Trémouilles^{b,c}, G. Toulon^{a,b}, K. Isoird^{b,d}, F. Morancho^{b,d}, M. Gavelle^a

^aCEA Tech Midi-Pyrénées, 135 avenue de Ranguéil, 31400 Toulouse, France

^bCNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, 31400 Toulouse, France

^cUniv de Toulouse, LAAS, 31400 Toulouse, France

^dUniv de Toulouse, UPS, LAAS, 31400 Toulouse, France

RESUME – Les nouveaux composants HEMT GaN de puissance offrent des performances très intéressantes (haute tension, courant élevé, faible résistance à l'état passant, commutation rapide). Toutefois, le matériau GaN possède encore quelques défauts qui piègent les porteurs, ce qui conduit à des phénomènes dynamiques difficiles à mesurer. Cet article présente une méthode de caractérisation permettant de mesurer ces phénomènes.

1. INTRODUCTION

Les composants HEMT GaN offrent des performances très intéressantes pour les applications de puissance. En effet, ce type de composants peut afficher une faible résistance à l'état passant (jusqu'à quelques $m\Omega$), une tension de claquage élevée (> 650 V) ainsi qu'une fréquence de commutation élevée (> 1 MHz). Malheureusement, il a été montré que lorsque ces interrupteurs sont exposés à une tension drain-source élevée à l'état bloqué, ils présentent, après leur mise en conduction, une dégradation de leur résistance à l'état passant qui évolue dans le temps. Il est communément admis que ce phénomène résulte du piégeage des porteurs dans le matériau GaN et / ou dans les régions proches de la grille [1-3]. Cependant, à notre connaissance, ce phénomène n'a jamais été étudié aux temps courts, de 100 ns à 1 ms, qui correspondent à la période couverte par les futures applications de puissance, qui devraient atteindre au moins 1 MHz.

2. BANC EXPERIMENTAL

En raison d'une vitesse de commutation très élevée et d'une grande dynamique à la fois en courant et en tension (variation de six ordres de grandeur lors de la commutation), il n'y a à ce jour pas de solution disponible [4] permettant de mesurer le comportement « réel » du composant lors des commutations telles qu'elles se produisent dans les applications. Nous avons donc mis en place un banc expérimental permettant la mesure temporelle de la tension aux bornes d'un composant de puissance à l'état ON quelques dizaines de nanosecondes après sa commutation d'une haute tension (qui peut être supérieure au

kilovolt) à une basse tension (du millivolt à quelques Volts), tout en améliorant la résolution de la mesure (Figure 1).

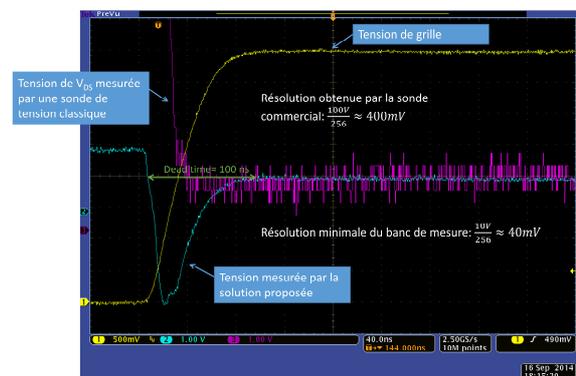


Figure 1 : Comparaison entre la résolution atteinte avec une sonde commerciale (courbe violette) et la résolution obtenue avec la solution proposée (courbe bleue) immédiatement après la mise en conduction du composant (100 ns).

La solution proposée est basée sur un « clamp » de tension très rapide (Figure 2- brevet en instance -) qui permet de calculer la résistance à l'état passant du composant dès 100 ns après sa mise en conduction pour une tension de 300 V et dès 300 ns pour une tension de 1200 V à l'état bloqué. Ce « clamp » protège l'oscilloscope de la haute tension drain-source lorsque le composant est bloqué, ce qui permet de mesurer avec précision une petite tension ($< V_{CLAMP}$) lorsque le composant est passant. Cette solution sera décrite plus en détail dans le document final.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Nous avons étudié l'évolution temporelle de la résistance à l'état passant (R_{on}) d'un composant GaN normally-off du commerce après un stress en tension d'une seconde à 600 V lorsque le substrat du composant est flottant (Figure 3) et lorsqu'il est mis à la masse (Figure 2). Il apparaît que, lorsque le composant est polarisé comme recommandé ($V_{GS} = 7V$), aucune variation temporelle significative n'est observée. Toutefois, lorsque le composant est polarisé à une tension V_{GS} inférieure, le courant de drain présente quelques retards avant d'atteindre une valeur stable (> 1500 ms @ $V_{GS} = 3$ V, Figure

4), révélant également une augmentation de la résistance à l'état passant de deux ordres de grandeur. En outre, ce phénomène est exacerbé lorsque le substrat est flottant (**Figure 3**).

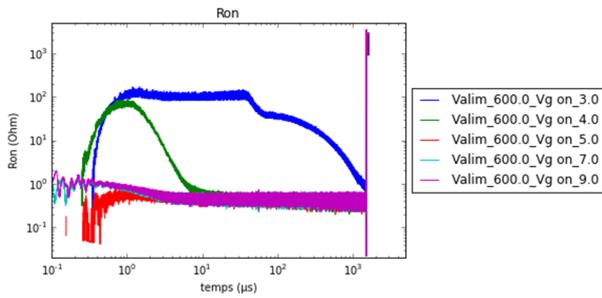


Figure 2: Mesure de la résistance à l'état passant d'un composant HEMT GaN commercial après un stress en tension de 600 V appliqué pendant 1 s sur le drain. Dans cette configuration, le substrat est à la masse et plusieurs tensions de grille sont appliquées pour commander le composant. Un temps de repos de 3 minutes est laissé entre chaque mesure afin de revenir dans les conditions initiales.

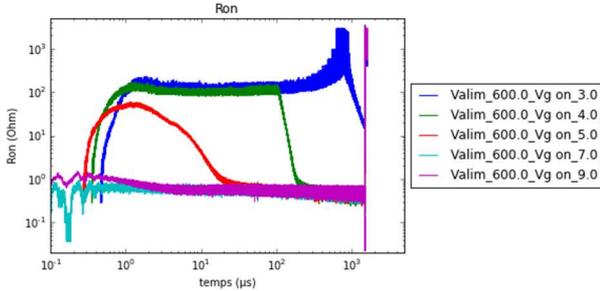


Figure 3: Mesure de la résistance à l'état passant d'un composant HEMT GaN commercial après un stress en tension de 600 V appliqué pendant 1 s sur le drain. Dans cette configuration, le substrat est laissé flottant et plusieurs tensions de grille sont appliquées pour commander le composant. Un temps de repos de 3 minutes est laissé entre chaque mesure afin de revenir dans les conditions initiales.

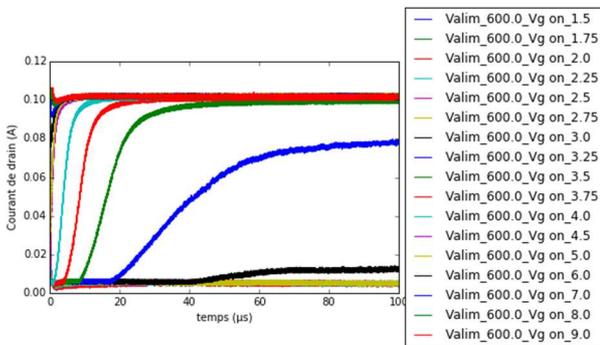


Figure 4: Mesure du courant de drain d'un composant HEMT GaN commercial après un stress en tension de 600 V appliqué pendant 1 s sur le drain. Dans cette configuration, le substrat est à la masse et plusieurs tensions de grille sont appliquées pour commander le composant. Un temps de repos de 3 minutes est laissé entre chaque mesure afin de revenir dans les conditions initiales.

4. ÉTUDE THEORIQUE DES PHENOMENES OBSERVES

Des simulations bidimensionnelles à éléments finis (outils TCAD Sentaurus de Synopsys) d'un composant GaN HEMT (avec une grille P-GaN), ont également été réalisées afin d'expliquer les phénomènes observés. Ces simulations montrent que, pour une tension grille-source suffisamment élevée, des trous sont injectés sous la grille, ce qui a pour effet d'augmenter la densité d'électrons dans cette région (**Figure 5**) et donc de diminuer la résistance à l'état passant du composant. De plus, cette injection de trous semble contribuer au dépiégeage des charges et diminuer ainsi la résistance dynamique à l'état

passant. Dans le même temps, le substrat connecté la masse empêche l'élévation de son potentiel et limite alors la déplétion des électrons dans le canal [5], limitant ainsi l'augmentation de la résistance à l'état passant du composant (**Figure 6**).

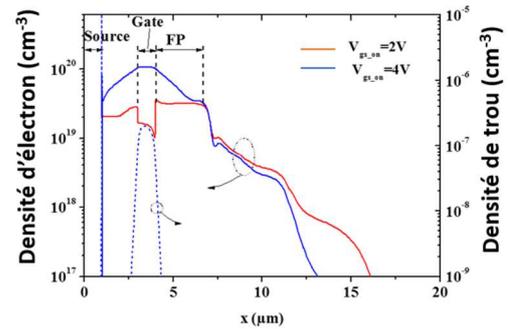


Figure 5 : Résultats de simulations TCAD Sentaurus effectuées sur un composant GaN HEMT (avec une grille P-GaN) montrant la densité d'électrons (traits pleins) et de trous (pointillés) dans le gaz 2D pour les tensions $V_{GS} = 2\text{ V}$ et 4 V . À $V_{GS} = 2\text{ V}$, la jonction P-N n'est pas polarisée, ce qui explique l'absence de trous.

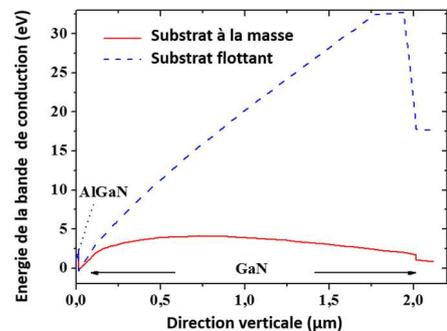


Figure 6 : Résultats de simulations TCAD Sentaurus effectuées sur un composant GaN HEMT (avec une grille P-GaN) montrant l'énergie des bandes de conduction sous la grille (résultat d'une coupe verticale) après un stress de 600 V, dans le cas d'un substrat flottant et d'un substrat à la masse. La tension de grille est de 2 V afin d'éviter l'injection de trous.

5. CONCLUSIONS

La mise en place d'un nouveau banc de test nous a permis de mesurer de manière précise la résistance dynamique d'un composant HEMT en GaN à des temps qui étaient difficilement accessibles jusqu'à présent. Ces résultats expérimentaux, étayés par des simulations physiques, nous ont permis de mettre en évidence l'effet du substrat et de la tension de grille sur la résistance dynamique de composants HEMT GaN.

6. REFERENCES

- [1] Zhou Xing-Ye, Feng Zhi-Hong, Wang Yuan-Gang, Gu Guo-Dong, Song Xu-Bo, Cai Shu-Jun, "Transient simulation and analysis of current collapse due to trapping effects in AlGaIn/GaN high-electron-mobility transistor", Chinese Physics B, vol. 24, N°4, pages 048503, 2015
- [2] Liao, Wen-Chia, Chen, Cheng-Hsin, Hsu, Chia-Wei Hsin, Yue-Ming, Chyi, Jen-Inn, "Analysis of Threshold Voltage Shift in AlGaIn/GaN Heterostructure Field-Effect Transistors with Different Buffer Layers", Journal of The Electrochemical Society, vol. 162, N°8, Janvier 2015
- [3] J. Joh, J.A. del Alamo, J. Jimenez, "A Simple Current Collapse Measurement Technique for GaN High-Electron Mobility Transistors", Electron Device Letters, IEEE, vol.29, N°7, pp. 665-667, Juillet 2008
- [4] Steve Sandler, "Faster-Switching GaN", IEEE Power Electronics Magazine, Juin 2015
- [5] M.J. Uren, J. Moreke, M. Kuball, "Buffer Design to Minimize Current Collapse in GaN/AlGaIn HFETs", IEEE Transactions on Electron Devices, pp. 3327-3333, vol. 59, issue 12, Octobre 2011