

EFFET DE LA POLARISATION DU SUBSTRAT SUR LES PROPRIETES ELECTRIQUES ET HYPERFREQUENCES DU MESFET GAAS

Reçu le 08/01/2005 – Accepté le 14/12/2005

Résumé

Dans cet article on décrit l'effet de la polarisation du substrat sur les caractéristiques électriques du transistor à effet de champ à l'arséniure de gallium. Une analyse basée sur l'existence d'une double charge d'espace à l'interface couche active substrat- semi isolant est appliquée à la détermination des paramètres de la couche active et de l'interface. Les propriétés des caractéristiques du courant de drain et celles de l'admittance de sortie et les phénomènes physiques liés à cette interface sont attribués à la réponse dynamique de cette double charge d'espace.

Mots clés: MESFET GaAs, couche active, substrat semi-isolant.

Abstract

This paper describes the polarization effect of the substrate on the electric characteristics of the Ga As MESFET. An analysis based on the existence of a double space charge at the interface active layer semi insulating substrate is applied to the determination of the active layer and the interface parameters. The properties of the drain current and the output admittance characteristics and the physical phenomena linked to this interface are assigned to the dynamic answer of this double space charge.

Keywords: GaAs MESFET, Active Layer, Semi Insulating Substrate.

N. MERABTINE¹
M. BELGAT²
M. ZAABAT³
C. KENZAI⁴
Y. SAIDI⁴

¹ Département d'électronique, Faculté des sciences de l'ingénieur. Univ. Mentouri Constantine. Algérie.

² Département d'électronique, Faculté des sciences de l'ingénieur. Univ. Ferhat Abbes. Setif. Algérie.

³ Département de physique. Inst. Sciences exactes. Univ. Oum EL-Bouaghi. Algérie.

⁴ Département de physique. Faculté des sciences. Univ. Mentouri Constantine. Algérie.

Les propriétés de l'interface couche active substrat semi- isolant influencent les caractéristiques électriques et hyperfréquences des MESFETS Ga As de l'arséniure de gallium étant un matériau où les pièges et les défauts sont particulièrement nombreux et difficiles à contrôler. En effet, la couche active peut être affectée à proximité de l'interface par la présence de nombreux défauts cristallographiques qui contribuent à diminuer la mobilité des porteurs libres dans cette zone. Les imperfections du substrat sont aussi responsables de l'existence d'une barrière interfaciale entre le substrat et la couche active.

Notre travail comporte les étapes suivantes :

- une étude du substrat semi- isolant d'arséniure de gallium
- une étude des propriétés de l'interface couche épitaxiale substrat semi-isolant.

ملخص

هذا المقال العلمي يصف تأثير استقطاب العينة على الخاصيات الكهربائية لـ GaAs MESFET. التحليل قائم على وجود فضاء مضاعف الشحنة في واجهة العينة نصف طبقة نشطة إلى عزيمة الطبقة النشط و ثوابت الواجهة. خصائص تيار البالوعة و خاصيات دخول الناتج و الظواهر الماديات المترابطات إلى هذه الواجهة يوكلن إلى جواب هذا الفضاء المضاعف الديناميكي الشحنة.

الكلمات المفتاحية: MESFET GaAs, طبقة نشطة, مفاعل شبه عازل.

MISE EN EVIDENCE EXPERIMENTALE DES DIFFERENTS PHENOMENES LIES A L'INTERFACE

La structure du transistor à effet de champ à grille Schottky à l'arséniure de gallium comporte un substrat semi-isolant compensé au chrome sur lequel on fait croître une couche épitaxiale de gallium fortement dopée. Une couche déposée sur la couche N constitue l'électrode de grille, de forme rectangulaire, sur la face arrière du substrat semi-isolant peut être réalisé par alliage un contact ohmique appelé électrode de substrat.

Les caractéristiques de l'interface couche active substrat semi- isolant influencent fortement les propriétés électriques et hyperfréquences des MESFET GaAs. L'arséniure de gallium étant un matériau où les pièges et des défauts sont particulièrement nombreux et difficiles à contrôler.

* la couche active peut être affectée à proximité de l'interface par la présence de nombreux défauts cristallographiques qui contribuent à diminuer la mobilité des porteurs libres dans cette zone.

* les imperfections du substrat sont aussi responsables de l'existence d'une barrière interfaciale entre le substrat et la couche active. Pour cette raison le MESFET GaAs est entaché de nombreux effets parasites qui perturbent son fonctionnement.

Afin d'étudier les propriétés de cette interface, nous présentons tout d'abord une mise en évidence expérimentale des différents phénomènes liés à cette interface.

Effet d'hystérésis et de coude sur le réseau de caractéristiques statiques de sortie

Ces effets d'hystérésis et de coude se présentent comme des anomalies sur les caractéristiques $I_D(V_{DS}, V_{GS})$ de certains MESFET GaAs. En régime de saturation (Figure1), ces anomalies ont été observé par plusieurs auteurs et attribué aux pièges d'interface couche épitaxiale – substrat semi isolant. Ces phénomènes induisent une dégradation importante des performances hyperfréquences des MESFET GaAs.

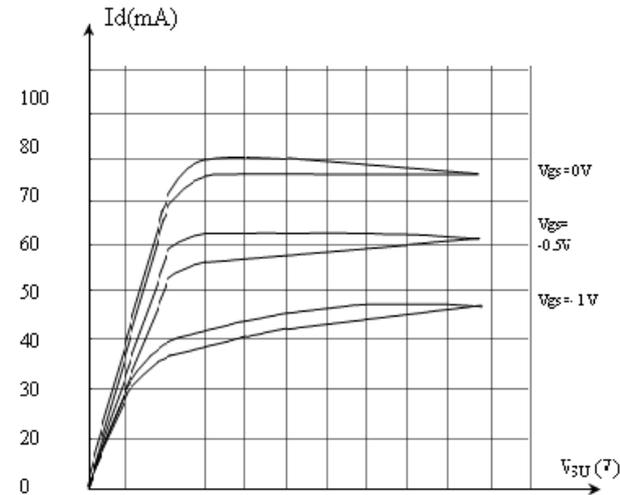


Figure 1 : Réseau de caractéristique $I_{DS}=f(V_{DS})$ pour $V_{GS}=0V, -0.5V, -1V$ présentant un phénomène d'hystérésis

Influence de la polarisation du substrat

Sur les caractéristiques de sortie : Sur la figure 2, nous avons présenté les caractéristiques de sortie $I_D(V_{DS}, V_{GS})$ paramètres en fonction de la tension de substrat. Nous constatons une décroissance du courant drain lorsqu'une tension négative est appliquée au substrat.

Sur la caractéristique de transfert à bas niveau de polarisation : Sur la figure3, nous avons reporté les variations du courant de drain I_D en fonction de la tension grille V_{GS} à faible tension de drain V_{DS} et pour plusieurs tensions de substrat. La caractéristique se translate suivant l'axe vertical.

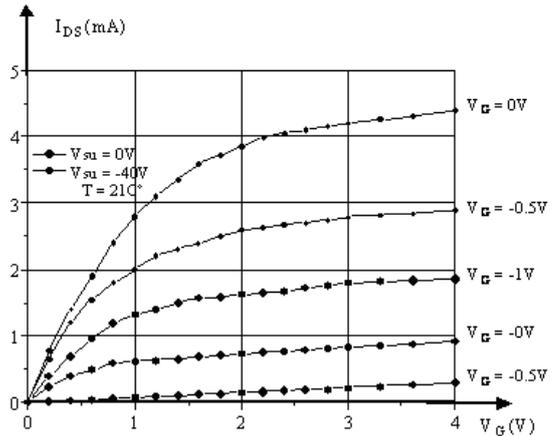


Figure 2 : Effet du substrat, $I_D(V_{DS}, V_{GS})$ en fonction de la tension du substrat.

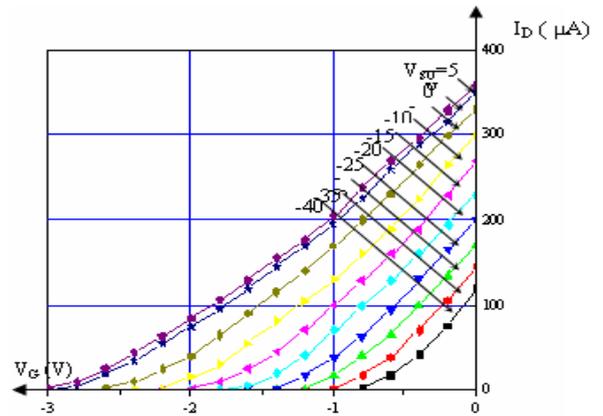


Figure 3 : Caractéristique de transfert en fonction de la tension du substrat.

Sur la tension de seuil V_T : La tension de seuil représente la tension de grille pour laquelle l'extension de la charge d'espace dépeuplée de porteurs s'effectue dans tout le semi-conducteur. Pour cette valeur particulière de la tension de grille, le courant drain s'annule. Dans notre cas, la figure.4 représente la détermination expérimentale de cette tension à partir de la caractéristique $I_D(V_G)$ en zone ohmique, à V_D très faible.

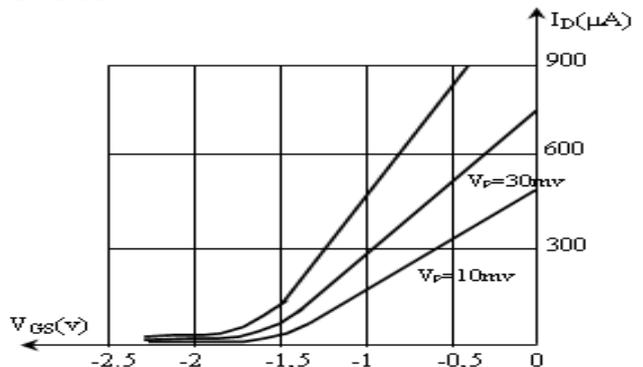


Figure 4 : Variation du courant de drain I_{DS} en fonction de la tension de grille à faible tension drain-source, détermination de la tension de seuil V_T .

Certains auteurs utilisent les variations de $I_D(V_G)$ en zone de saturation ; la valeur V_T obtenue étant différente de celle obtenue en zone ohmique. Dans le cas où une polarisation est appliquée au substrat, à partir des caractéristiques précédentes ; nous avons reporté les variations de la tension de seuil avec la polarisation du substrat (figure 5). Sur cette figure nous pouvons noter trois régions distinctes, en fonction de la valeur de la tension de substrat : une région décroissante puis une saturation et enfin une descente pour une tension de substrat positive.

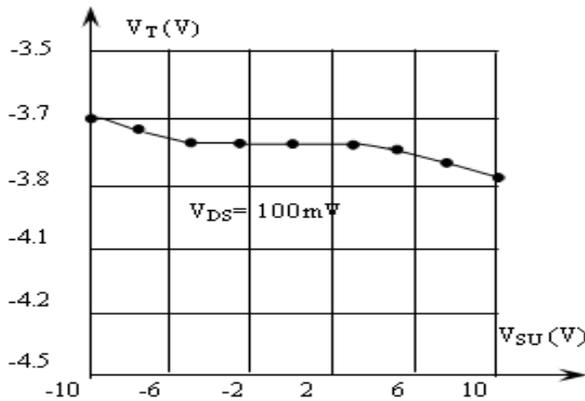


Figure 5: Variation de la tension de seuil en fonction de la polarisation du substrat

Dispersion de la capacité d'entrée

Sur la figure 6, nous avons représenté les variations de la capacité dynamique de grille en fonction de la tension de grille et ceci pour diverses valeurs de la tension de substrat. On remarque trois régions différentes sur la caractéristique : Une variation lente ; une chute brusque et une région où la capacité tend vers une valeur nulle. La première région correspond à la capacité d'une diode Schottky polarisée en inverse ; ensuite dès que la tension de seuil est atteinte, la capacité est associée à la modulation de la charge électronique résiduelle dans les zones de charge d'espace. Les valeurs négatives de la tension de substrat provoquent une translation des caractéristiques alors que les valeurs positives ont peu d'influence. Compte tenu du fait que cette caractéristique dépend de la polarisation du substrat, les méthodes de détermination du profil de dopage à partir des courbes $C(V)$ sont remises en question.

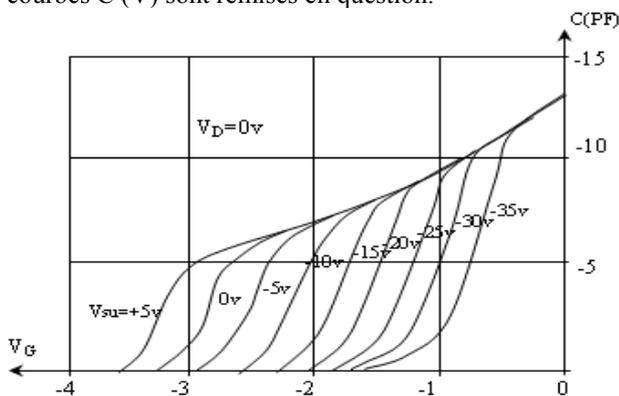


Figure 6: variations expérimentales de la capacité inverse de grille en fonction de la tension de grille pour diverses valeurs de la tension du substrat.

Dispersion de la conductance de sortie

Lorsque la tension du drain varie suivant une loi sinusoïdale dans le temps, la caractéristique courant drain en fonction des tensions dépend de la valeur de la fréquence. Pour étudier cette dépendance fréquentielle, nous avons reporté les variations de la conductance de sortie en petits signaux de ces structures. Dans le plan de Nyquist, les variations de la partie imaginaire en fonction de la partie réelle sont un demi cercle, paramètre en fonction de la fréquence (Figure 7). Ce cercle existe quel que soit le régime de fonctionnement, en zone ohmique ou en zone de saturation. Cette dispersion de la conductance entraîne une dégradation importante des performances hyperfréquences des MESFET GaAs et notamment le gain en puissance.

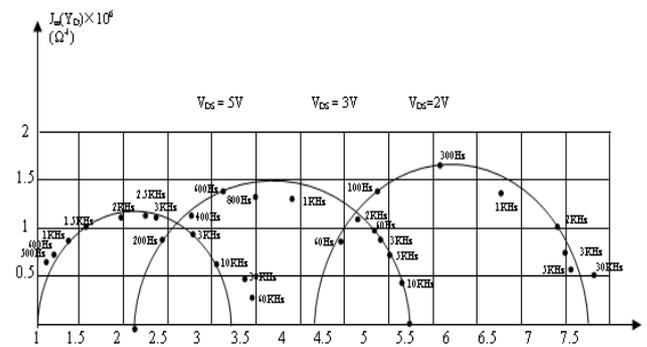


Figure 7: Evolution en basses fréquences de l'impédance de sortie du MESFET GaAs.

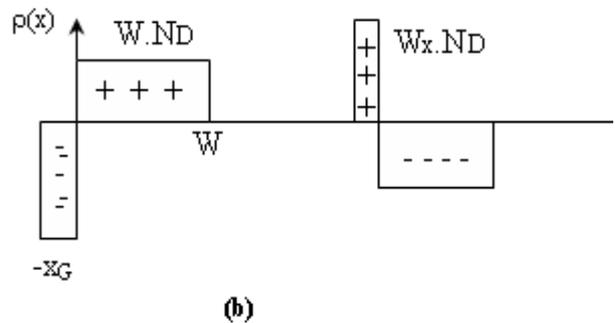
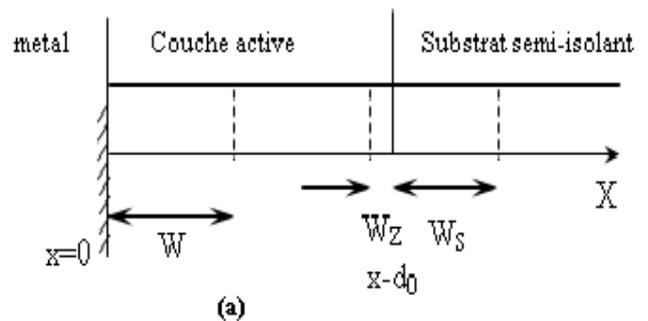


Figure 8 : Double zone de charge d'espace : a : charge d'espace dans le MESFET. b : densité de charge

INTERPRETATION DES PHENOMENES

Certains auteurs ont interprété les anomalies de fonctionnement du MESFET GaAs par un mécanisme de piégeage qui se produit à l'interface couche active-substrat. Pour notre part, nous expliquons ces différents phénomènes par la présence d'une double charge d'espace à l'interface. En effet, lorsqu'on applique une tension de drain positive et lorsque une tension est appliquée ou non au substrat semi-isolant il se produit une répartition de ce potentiel entre la couche active et le substrat semi-isolant, d'où la naissance des zones de charges d'espace dans la structure :

Une zone de charge d'espace sous la grille de largeur W due à la polarisation inverse grille-source (Figure 8). Une charge fixe superficielle qui existe à l'interface semiconducteur –semi-isolant analogue à celle que l'on trouve dans les structures semiconducteur-isolant. Des zones de charge d'espace de part et d'autre de l'interface pour satisfaire la loi de continuité de l'induction électrique, de largeur WZ et WS . Une charge d'espace positive dans le semiconducteur est due aux impuretés ionisées ND et une charge d'espace négative dans le semi isolant est due aux impuretés qui rendent le substrat semi-isolant.

CONCLUSION

Ces anomalies de fonctionnement sont ensuite interprétées par la présence d'une double charge d'espace à l'interface susceptible être modulée par une variation de la polarisation du substrat, il en résulte une modulation de l'épaisseur du canal et par conséquent à réduire le courant de drain. Ceci explique les variations expérimentales des caractéristiques de sortie lorsque le substrat est polarisé. Ces phénomènes physiques sont attribués aux pièges profonds de l'interface qui influencent non seulement les performances des MESFETS AsGa et représentent une limitation sérieuse pour les circuits intégrés à base de ce composant.

Ainsi, l'origine des mécanismes de relaxation des hystériser ou des effets de coude, est liée à la formation de cette double charge d'espace à l'interface. La modification de la conductance de sortie est due à la réponse des centres profonds.

Ces phénomènes entraînent des instabilités temporelles des circuits de commutation à base de MESFET GaAs.

REFERENCES

- [1] K. Horio , Y. Fuseya, Two dimensional simulation of drain-current Transients in GaAs MESFET's with semi-insulating substrates compensated by Deep levels, IEEE Transaction on Electron Devices, vol.41 , n°8, p 1340-1346, (1994).
- [2] Z. Ouarchi, Caractérisation et modélisation des effets de pièges et thermiques des transistors à effet de champ sur GaAs ; Application à la simulation de la dynamique lente des circuits micro-ondes, Thèse de doctorat de l'université de Limoges, N° 9-99.
- [3] M. Nawaz, T.A. Feldly, A new charge conserving capacitance model for GaAs MESFET'S, IEEE Transaction on Electron Devices, 44, 11 (1997).
- [4] S. D'Agostino, A.B. Berruto "Physics based expressions for non- linear capacitances of MESFET equivalent circuit" IEEE Transaction on M.T.T, 42, 3, p 403-406, (1994).
- [5] C. Kenzai, Y. Saidi, M. Zaabat, N. Merabtine, "A new model predicting the dynamic behaviour of GaAs MESFET", LATIVIAN journal of physics and technical sciences N°4 (2003).
- [6] N. Merabtine, S. Amourache, Y. Saidi, M. Zaabat, C. Kenzai, « New non linear model to determine Cgd capacities of GaAs MESFET" Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics, V. 06, N°3.P. 404-410 (2003).