



# Analyse Electrique et Optique des Effets Induits par des Neutrons (30 MeV) pour de Faibles Fluences dans des JFETs

A. Hoffmann<sup>(a)</sup>, J.-P. Charles<sup>(a)</sup>, S.E. Kerns<sup>(b)</sup>, D.V. Kerns Jr.<sup>(b)</sup>,  
M. de la Bardonnie<sup>(c)</sup> and P. Mialhe<sup>(c)</sup>.

(a) Centre Lorrain d'Optique et d'Electronique des Solides, Supélec,  
2, rue Edouard Belin, 57070 Metz, France.

(b) Department of Electrical Engineering, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee 37212, U.S.A.

(c) Centre d'Etudes Fondamentales, Université de Perpignan,  
52, av. de Villeneuve, 66860 Perpignan Cédex, France.

## RESUME

Les effets de neutrons de 30 MeV sur des structures JFETs à canal n au silicium sont analysés. Les paramètres de la jonction grille canal sont étudiés à partir d'un logiciel spécifique pour différentes fluences. Les variations de ces paramètres sont attribuées à des défauts induits dans le volume du semi-conducteur. Les effets induits dans les oxydes de passivations sont analysés à partir de l'électroluminescence de la jonction grille canal.

## I. INTRODUCTION

Les paramètres électriques pour des dispositifs microélectroniques sont modifiés au cours d'applications spatiales, aéronautiques ou nucléaires. Ces changements de fonctionnement peuvent induire des dégradations de la performance ou des défauts fonctionnels. Que ce soient des défauts de déplacement ou des défauts d'ionisation (TID) leurs effets peuvent compromettre le fonctionnement du dispositif. Les neutrons créent des défauts de déplacement aboutissant à l'occupation de site interstitiels. La dose totale déposée résulte à l'accumulation de charges piégées dans les oxydes et à des changements de l'état électrique et de l'activité des états d'interface.

L'émission de lumière d'une jonction p-n polarisée en inverse a été présentée par Newman [1] en 1955. Plusieurs modèles pour l'émission de photons pour une jonction polarisée en régime d'avalanche ont été proposés [2-6]. La lumière est émise à partir de la jonction de la structure. Par conséquent, l'analyse de l'électroluminescence permet d'obtenir des informations sur les propriétés physiques de la région de la jonction et des régions traversées par la lumière.

Dans cette étude, la mesure de l'électroluminescence est utilisée afin d'analyser les défauts induits par des neutrons rapides sur la jonction et sur les oxydes de passivation des JFETs. L'analyse des défauts induits par l'irradiation dans la structure est également réalisée à partir de l'étude de la dérive des paramètres associés à la jonction grille canal.

## II. MESURES

Les structures utilisées sont des JFETs à canal N du commerce présentant une structure interdigitée (Siliconix 2N4416). Les composants ont été exposés à une source de neutron de 30 MeV présentant un flux de  $2.82 \times 10^6$  neutron/second/cm<sup>2</sup> pour 3 temps d'exposition différents (4, 8, and 12 heures). Les fluences sont alors respectivement de  $4.06 \times 10^{10}$ ,  $8.12 \times 10^{10}$ , and  $1.22 \times 10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>. L'ensemble des broches du composant ont été connectées à la masse pendant l'irradiation. Les fluences utilisées sont nettement plus faibles que celles utilisées pour les tests de durcissement face au neutron, en général:  $10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> [3]. Les irradiations ont été réalisées au cyclotron de 88" à l'U.C.L. (Université Catholique de Louvain-la-Neuve, B). Les spectres d'émission lumineuse ont été mesurés dans la gamme 1.4 - 2.6 eV pour la jonction grille-canal (la source et le drain étant court-circuités) en régime d'avalanche contrôlée [7]. Le courant inverse appliqué est de 7 mA. Les paramètres électriques (courants de saturation inverse associés à la diffusion et à la recombinaison, résistances série et shunt) de la jonction grille-canal en régime de conduction direct sont analysés à partir du logiciel spécifique PARADI [8].

## III. Résultats et discussion

L'émission de la jonction grille-drain en régime d'avalanche a été caractérisée optiquement avant et après irradiation par neutron. Après irradiation les pics associés à l'interférence dans les couches traversées dérivent vers des valeurs de plus basse énergie (autours de 0.03 eV), comme le montre la Figure 1, indiquant un changement de l'indice de réfraction de la couche traversée (oxyde de passivation) [9].

La caractérisation électrique du JFET avant et après irradiation montre une légère décroissance du courant de saturation après irradiation. Cette décroissance est associée à la génération d'états de type accepteurs [7] par l'intermédiaire de déplacement d'atomes du réseau, d'impuretés ou du dopant. Cette interprétation est en accord avec les variations des paramètres électriques de la jonction grille-canal présentée sur la figure 2.

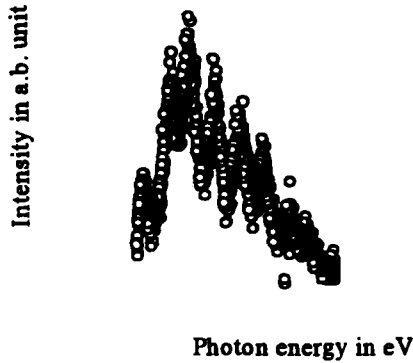


Figure 1: Spectre d'électroluminescence avant (●) et après (○) irradiation neutron

La génération de défauts de type accepteur dans la volume du semi-conducteur et la désactivation d'atomes donneurs induits par les neutrons diminuent le courant de saturation inverse de la jonction, variation augmentant avec le temps d'exposition. Le courant inverse de saturation associé à la diffusion n'est pas altéré pour les différentes fluences étudiées. Le sens des variations observées sont opposées à celle observées suite à des irradiations de type ionisant [10] qui modifient en priorité le comportement électrique des interfaces. Ces résultats permettent de dire que les défauts créés par l'irradiation neutron dans les oxydes de passivations n'affectent pas les caractéristiques électriques de la structure. En effet, les changements électriques associés à l'interface oxyde - semi-conducteur dus aux neutrons apparaissent négligeables, néanmoins ces défauts électriquement inactifs sont clairement mis en évidence par la caractérisation optique.

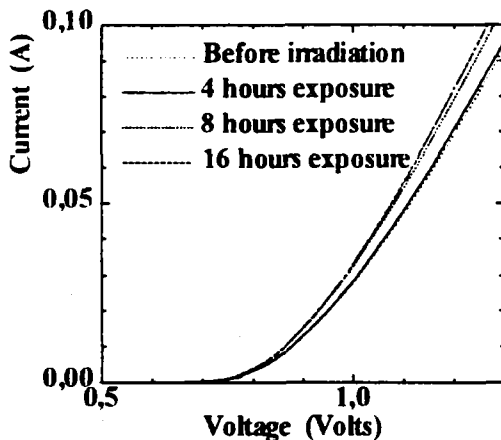


Figure 2: Variation de la caractéristique de la jonction

## IV Conclusion

Il a été depuis longtemps reconnu que les neutrons créent des défauts dans le volume du semi-conducteur pour des doses supérieures à  $10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>. Cette étude montre que même pour de faibles fluences de neutron ( $10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>), les jonctions des JFETs à canal n, caractérisées en mode de conduction directe, irradiées par des neutrons présentent une décroissance du courant inverse de saturation associé à la recombinaison.

Les défauts induits par irradiation neutron dans les oxydes de passivation non pas d'effet significatif sur les paramètres électriques de la jonction. Tous les paramètres associés à cette jonction ne présentent pas de changement pour les fluences étudiées, excepté le courant inverse de saturation. Néanmoins l'analyse de l'électroluminescence de la jonction grille-canal en régime d'avalanche montre que l'irradiation par neutrons rapides rend plus dense les couches d'oxyde de passivation. Ainsi l'analyse de l'électroluminescence fournit une méthode sensible de détection de défauts électriquement inactifs induits par des neutrons, devenant ainsi une méthode pratique pour évaluer les défauts induits même pour de faibles fluences de neutrons.

## V. REFERENCES

- [1] R. Newman, *Phys. Rev.*, Vol. 100, No. 2, (1955), pp.700-703.
- [2] A. G. Chynoweth, and K.G. McKay, *Phys. Rev.*, Vol. 102, No. 2, (1956), pp.369-376.
- [3] T. Figielski, and A. Torum, *Int'l Conf. Phys. Semiconductors*, Exeter, Pergamon Press, London, (1962), p. 863-868.
- [4] W. Haecker, *Physica Status Solidi (a)*, Vol. 25, (1974), pp.301-310.
- [5] N. C. Das, and B. M. Arora, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 56, No. 12, (1990), pp.1152-1153.
- [6] N. Akil, S. E. Kerns, D. V. Kerns, Jr., A. Hoffmann, and J-P. Charles, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 73, No. 7, (1998), pp. 871-872.
- [7] M. Citterio, S. Rescia, and V. Radeka, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, Vol.42, N°6, (1995), pp. 2266-2270.
- [8] J.-P. Charles, I. Mekkaoui-Alaoui, G. Bordure, and P. Mialhe, *Solid-State Electronics*, Vol. 28, (1995), pp. 807-820
- [9] A. Vasiek, *Optics of Thin Films*, Amsterdam Press, (1960) p.112.
- [10] M. de la Bardonnie, A. Maouad, P. Mialhe, O. Elmazria, A. Hoffmann, B. Lepley, J.-P. Charles, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, Vol 42, N6, (1995) pp 1622-1627.