HAL
open science

Durcissement des IGBT planar contre le déclenchement de " Single-Event Burnout "

Moustafa Zerarka, Patrick Austin, Frédéric Morancho, Karine Isoird, Josiane Tasselli, Tanguy Phulpin

To cite this version:

Moustafa Zerarka, Patrick Austin, Frédéric Morancho, Karine Isoird, Josiane Tasselli, et al.. Durcissement des IGBT planar contre le déclenchement de " Single-Event Burnout ". Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065194

HAL Id: hal-01065194

https://hal.science/hal-01065194v1

Submitted on 18 Sep 2014

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.

Durcissement des IGBT planar contre le déclenchement de « Single-Event Burnout »

M.Zerarka[1,2], P.Austin[1,2], F. Morancho[1,2], K. Isoird[1,2], J. Tasselli[1,3], T.Phulpin[1,2]
[1]CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, BP 54200 F-31031 Toulouse Cedex4, France
[2]Univ de Toulouse, UPS, LAAS, F-31031 Toulouse, France
[3]Univ de Toulouse, LAAS, F-31031 Toulouse, France

RESUME–Dans ce travail, nous proposons des solutions de durcissement contre les radiations afin d'augmenter les zones de sécurité de fonctionnement (SOA) des composants de puissance comme les IGBT. Nous présentons certaines modifications, réalisées au niveau design, permettant la désensibilisation contre les phénomènes de déclenchement liés aux structures parasites, afin d'améliorer la tenue aux radiations des composants de puissance à grilles isolées.

Mots-clés—IGBT, SEB, SEL, TCAD, SENTAURUS, composants de puissance, irradiations ions lourds.

1. INTRODUCTION

De nombreuses études ont été lancées sur les environnements radiatifs et leurs effets sur les différents types de composants à semi-conducteurs afin de comprendre les phénomènes associés et trouver des techniques de fabrication des systèmes de prédiction et de durcissement. Les environnements radiatifs naturels sont constitués de diverses particules provenant du soleil ou d'origine extra galactique. Ils sont de deux types: atmosphérique et spatial. Bien que l'environnement radiatif atmosphérique soit beaucoup moins agressif, des défaillances ont déjà été observées dans des équipementiers ferroviaires où plusieurs travaux ont montré que des défaillances radiatives se produisaient dans les composants de puissance au niveau du sol [1], [2]. SEB (Single Event Burnout) est l'un des effets catastrophiques qui pourrait causer la destruction des dispositifs électroniques qui sont intégrés dans les systèmes avioniques, ferroviaires ou même automobiles comme les IGBT [3], [4]. Il est donc capital de penser à diminuer le degré de sensibilité de ces composants. Plusieurs approches de durcissement ont été proposées pour utiliser les interrupteurs de puissance dans des conditions extrêmes comme le milieu radiatif. Nous pouvons citer les circuits extérieurs de protection qui protègent généralement l'ensemble du module de puissance ou les designs particuliers qui permettent de réduire ou de supprimer l'effet des structures parasites inhérentes. Les phénomènes destructifs étudiés dans ce travail (SEB, SEL) peuvent n'apparaitre que dans une seule cellule élémentaire, mettant en jeu l'ensemble de la puce de puissance. Par conséquent, nous nous sommes intéressés à chercher des solutions de durcissement au niveau du design de la cellule du composant. Les modifications proposées sont validées par simulation TCAD utilisant Sentaurus [5].

2. FONCTIONNEMENT PARASITE DE L'IGBT

Il existe trois modes de déclenchement du latch-up qui sont tous liés au dépassement d'un courant critique (I_{AK}). Le premier apparaît lorsque le composant est à l'état passant (faible V_{AK}) et que le courant passant (I_{AK}) excède cette valeur seuil de déclenchement. L'augmentation du courant I_{AK} peut être liée, par exemple, à une augmentation de la température ou à l'apparition d'un sur-courant généré par le circuit extérieur au composant. Le second intervient durant les phases de commutations où les *dV/dt* peuvent être importants et générer des courants de déplacement significatifs dans la zone de charge d'espace. Le troisième mode se produit pendant la phase de blocage du composant où une particule ionisante génère des paires électron-trou dans la zone de charge d'espace : c'est le Single Event Latch-up (SEL).Le déclenchement de ce thyristor parasite doit donc être désensibilisé car il entraîne la perte du contrôle de l'IGBT et, bien souvent, sa destruction.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, à l'état passant, le courant total est composé d'un courant d'électrons fourni par le MOSFET et d'un courant de trous injectés par la jonction J_3 et collectés par la jonction J_1. Ce courant de trous est la somme des courants I_{p1} et I_{p2} (cf. Figure 1). I_{p1} représente les trous collectés du côté droit de la cellule, ces trous circulent vers la cathode à travers la résistance R_p schématisée sur la Figure 1. Ce courant crée ainsi une chute de tension aux bornes de la résistance R_p qui rend la jonction J_1 passante. En fonctionnement normal de l'IGBT, cette chute de tension peut être minimisée en réduisant la valeur de résistance R_p correspondant à la résistance de la région P sous la diffusion N^+ d'émetteur. Dans ces conditions, le gain en courant du transistor NPN est très faible minimisant le risque de latch-up. Cependant, quand la densité du courant à l'état passant augmente, la polarisation en direct de la jonction J_1 peut devenir suffisante pour augmenter le gain en courant du transistor NPN. Si la somme des gains en courant des transistors NPN et PNP excède l'unité, le phénomène du latch-up se produit et, par conséquent, le courant circule directement de l'anode vers la cathode sans pouvoir être contrôlé.

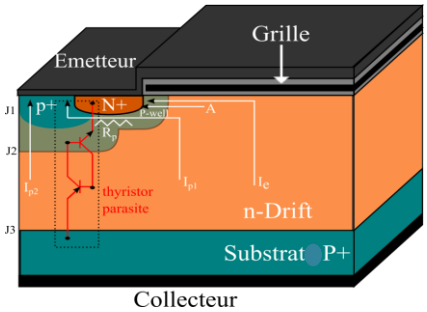

Fig.1 : Latch-up du thyristor parasite dans un IGBT

3. Description des structures

A partir de nos structures classiques de type planar, des modifications simples du design et du process technologique sont apportées. Une première modification consiste à ajouter une zone P^+ dans la région intercellulaire, au milieu de la cellule de telle sorte qu'elle soit en court-circuit avec la cathode. L'épaisseur de la zone P^+ a été augmentée pour atteindre une profondeur de jonction de 7 µm, c'est-à-dire la même profondeur que celle du P^+ de la zone active. L'extension latérale L_D est égale 80% de cette épaisseur. La Figure 2 montre une coupe schématique de la modification géométrique réalisée (structure IGBT-1). Les dopages de l'IGBT standard sont conservés. Notons que ceci devrait avoir un effet bénéfique seulement sur la sensibilité au latch-up d'un IGBT puisque la modification apportée va dans le sens du déclenchementdu transistor parasite créé par la zone P^+ ajoutée afin de retarder le déclenchement du thyristor parasite inhérent (cf. Figure 2).

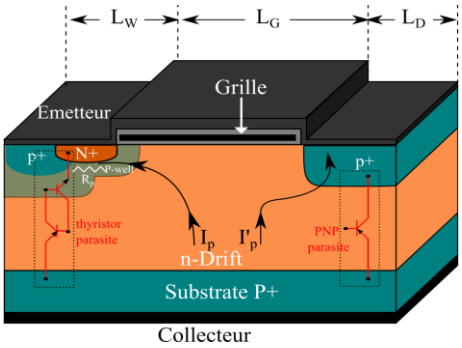

Fig.2 : Représentation schématique de la première modification de la structure par l'ajout d'une diffusion P+ dans la région intercellulaire (IGBT-1).

La deuxième modification (figure 3) consiste à remplacer certaines parties de la diffusion N^+ par une diffusion P^+ au niveau de la cathode (structure IGBT-2). Les simulations ont permis de montrer que ces modifications du design n'introduisent pas de changements sur les comportements et performances électriques en régime normal de fonctionnement.Le bon comportement électrique des structures IGBT-1 et IGBT-2 a été vérifié de façon qualitative en simulant les caractéristiques de sortie $I_A(V_{AK})$ (cf. Figure 4) et de transfert $I_A(V_{GK})$ ainsi que la tenue en tension.

Par contre, nous n'avons pas étudié l'influence sur les commutations. Nous allons dans un premier temps étudier l'influence de ces modifications sur la fiabilité de l'IGBT.

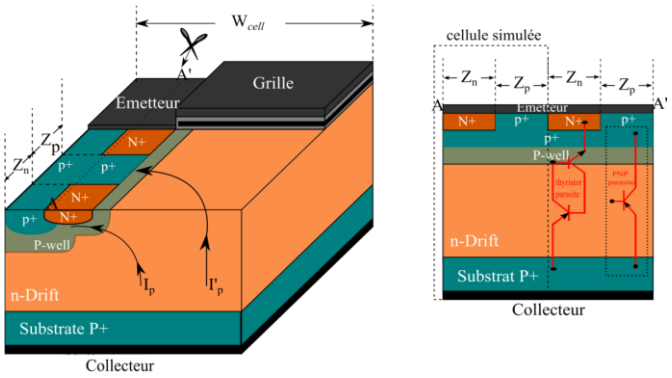

Fig.3 : Représentation schématique de la deuxième modification de la structure par la diffusion de P+ dans la région N+ émetteur « IGBT-2 » (gauche), coupe 2D suivant AA' (droite)

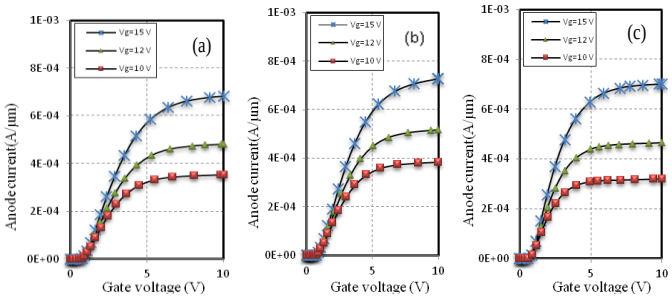

Fig.4 : Caractéristiques de sortie IA = f(VAK) de (a) l'IGBT standard, (b) l'IGBT-1 et (c) l'IGBT-2

4. Sensibilite des structures etudiees

L'investigation de l'IGBT standard dans le milieu radiatif a été détaillée dans nos précédents travaux [6].Les résultats de simulation sont donnés pour différentes tensions V_{AK} et pour une seule position d'impact de l'ion (x = 30 µm) qui est la position la plus sensible trouvée dans la structure standard [7],[8]. La profondeur de pénétration de la particule incidente est conservée à une valeur de 50 µm et est générée toujours verticalement au sein de la demi-cellule depuis la face avant. Vu que la simulation 2D ne répond pas à tous nos besoins pour l'étude et l'optimisation des structures proposées, nous sommes passés à la simulation 3D. Plus de détails sur les modèles physiques utilisés lors de ces simulations sont présentés au [6], [7].

La Figure 5 donne le LET minimal en pC/µm pour différentes tensions de polarisation et permet de comparer les résultats de sensibilité pour les différentes structures. On remarque que la tenue aux radiations de la structure initiale est améliorée quelle que soit la tensionde polarisation. Les LET seuils des structures IGBT-1 et IGBT-2 sont 8 à 30 fois plus élevés que celui de la structure IGBT standard. Le seuil de déclenchement augmente, la tension de seuil de déclenchement dans les IGBT-1 et IGBT-2 étant respectivement égales à 2

foiset 3 fois la tension de seuil de l'IGBT standard, montrant un durcissement meilleur pour le deuxième.

La figure 6 montre la répartition de courant des trous dans l'IGBT-1, avant le déclenchement du thyristor parasite. Dans ce cas, le latch-up ne se produit pas. Une grande partie des trous circule verticalement et rejoint les zones P^+ ajoutées sans passer par la région P-well, ce qui diminue l'efficacité d'injection dans cette zone.

L'efficacité d'injection du transistor NPN est un paramètre important dans le mécanisme de défaillance d'un IGBT : tout changement de cette efficacité modifie le gain du thyristor parasite et donc la sensibilité de la structure. La Figure 6 présente une séquence de l'évolution de la distribution du courant total juste après l'impact d'un ion lourd dans la structure IGBT-1. Le transistor PNP formé par la diffusion P^+/N-drift/substrat P se déclenche dans un premier temps en diminuant considérablement l'efficacité d'injection du transistor NPN, ce qui diminue le gain du thyristor parasite. Dans ce cas, le latch-up ne se produit pas carcette structure se comporte comme une structure MOSFET qui se déclenche plus rapidement qu'un IGBT standard mais qui exige le phénomène d'avalanche, ce qui signifie que plus de porteurs sont nécessaires pour tenir le déclenchement du transistor PNP, contrairement à l'IGBT où le mécanismed'ionisation par impact n'est pas nécessaire au déclenchement du SEL [9], [10]. Par conséquent le déclenchement ne sera que transitoire dans l'IGBT proposé (cf. Figure 6).

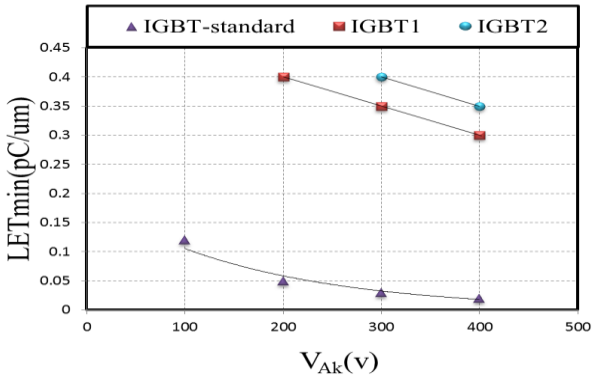

Fig.5 : LET minimal déclenchant un SEB pour différentes polarisations d'un ion lourd provenant de la face avant dans l'IGBT standard, l'IGBT-1 et l'IGBT-2

Les lignes de courant des trous, représentant la répartition de ce courant, avant le déclenchement du thyristor parasite, dans les trois structures simulées, est donnée sur la Figure 7. On peut remarquer que, dans le cas de la structure standard où le latch-up se produit, une grande partie du courant de trous circule vers l'émetteur à travers la région P-well, augmentant la tension de polarisation de la jonction N+émetteur/P-well. En revanche, dans l'IGBT-1 et l'IGBT-2, le latch-up ne se produit pas. Une grande partie des trous circule verticalement et rejoint les zones P+ ajoutées sans passer par la région P-well, ce qui diminue l'efficacité d'injection dans cette zone.

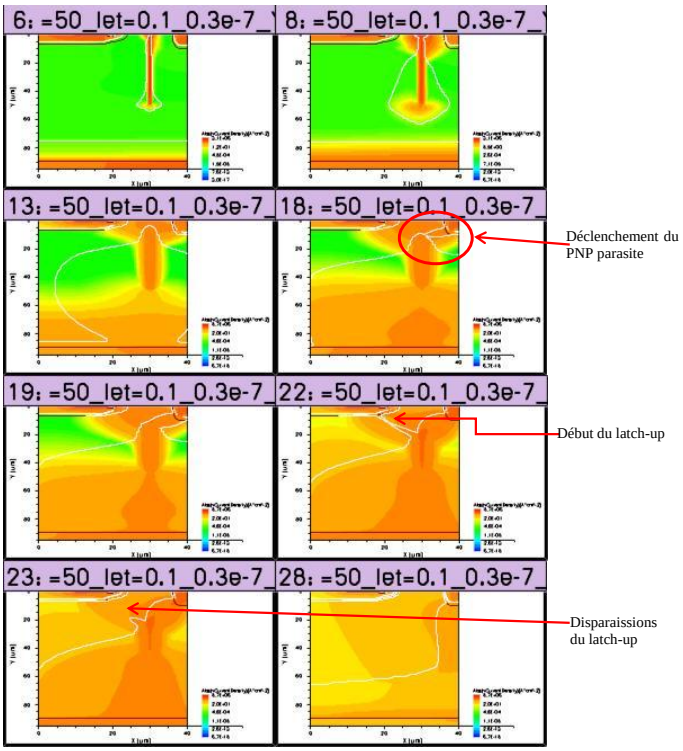

Fig.6 : Distribution du courant à différents instants après l'impact dans l'IGBT-1

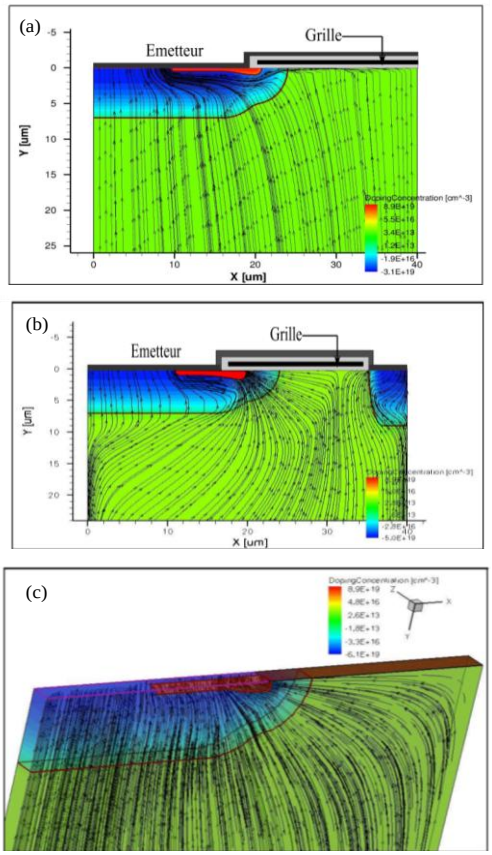

Figure 7 : Distribution du courant de trous dans une structure IGBT standard (a), l'IGBT-1 (b) et l'IGBT-2 (c).

5. CONCLUSION

Deux modifications technologiques sur des IGBT classiques de type planar ont été proposées. La première consiste à ajouter une zone P^+ dans la région intercellulaire de telle sorte qu'elle soit en court-circuit avec la cathode. La deuxième modification consiste à remplacer certaines parties de la diffusion N^+ par une diffusion P^+ au niveau de la cathode. Ces deux modifications permettent d'améliorer la tenue aux radiations de la structure initiale quelle que soit la tension de polarisation et augmentent la tension seuil de déclenchement.

6. REFERENCES

[1] J.F. Ziegler, "Terrestrial cosmic ray" , IBM Journal of Research andDevelopment, Vol. 40, Jan. 1996, pp. 19-40.

[2] J.F. Ziegler, "Terrestrial cosmic ray intensity", IBM Journal of Research and Development, Vol. 42, Janv 1998, pp. 117-139.

[3] Lorfèvre, E et al; , "Heavy ion induced failures in a power IGBT," IEEE Transactions on Nuclear Science, , vol.44, no.6, pp.2353-2357, Dec 1997

[4] McDonald et al.; , "Destructive heavy ion SEE investigation of 3 IGBT devices," Radiation Effects Data Workshop, 2000 , vol., no., pp.11-15, 2000

[5] Sentaurus TCAD Tools. Synopsys, 2009.

[6] M. Zerarka, P. Austin, G. Toulon, F. Morancho, H. Arbess, J. Tasselli "Behavioural study of single event burnout in power devices for natural radiation environment applications". IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.59, N°12, pp.3482-3488, Décembre 2012 , N° 12621

[7] M. Zerarka « Étude des régimes extrêmes de fonctionnement en environnement radiatif des composants de puissance en vue de leur durcissement pour les applications aéronautiques et spatiales » thèse, Université Toulouse III, 2013

[8] A. Luu, et al, "Sensitive Volume and Triggering Criteria of SEB in Classic Planar VDMOS" IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 55, no. 4, pp. 2166–2173, Aug. 2008.

[9] Lorfèvre, E.; Dachs, C.; Detcheverry, C.; Palau, J.-M.; Gasiot, J.; Roubaud, F.; Calvet, M.-C.; Ecoffet, R., "Heavy ion induced failures in a power IGBT", Nuclear Science, IEEE Transactions on Volume 44, Issue 6, Dec 1997

[10] E. Lorfèvre, « Défaillances induites par les rayonnements ionisants dans les composants de puissance IGBT et VIP. Solutions de durcissement », thèse, Université Montpellier II, 1998