

Structure bipolaire bidirectionnelle en courant et en tension sur silicium (BipAC)

Hiba Rizk^{1,2}, Hakim Tahir¹, Abdelhakim Bourennane^{1,2}, Jean-Pierre Laur^{1,2}, Marie Breil¹

¹CNRS; LAAS; 7 avenue du Colonel Roche, F-31077 Toulouse, France.

²Université de Toulouse; UPS, INP, LAPLACE.

RESUME – Cet article présente une architecture de structure bipolaire bidirectionnelle en courant et en tension (BipAC) pour des applications de gestion d'énergie sur le réseau alternatif 50 Hz- 230 V. La structure bipolaire que nous proposons est une structure de type PNP verticale bidirectionnelle et commandable à la fermeture et à l'ouverture. Sa faible chute de tension à l'état passant (inférieure à 1V) la rend intéressante pour des applications spécifiques sur le réseau à faible courant (inférieur à 1 A). En outre, la commande du dispositif s'effectue par rapport à une seule électrode de référence.

MOTS-CLES – transistor bipolaire bidirectionnel, interrupteur silicium bidirectionnel, triac, AC switch

1. Introduction

Dans le domaine de la gestion de l'énergie électrique pour des applications sur le réseau alternatif 230V – 50Hz, les composants existants (thyristors, triacs,...) utilisés pour piloter les charges domestiques (électroménager, éclairage, ...) présentent certains inconvénients: chute de tension supérieure à 1V, non contrôlables à l'ouverture. De ce fait, de nouveaux interrupteurs électroniques doivent être développés afin de remédier à ces problèmes. Le composant que nous proposons dans cet article s'insère dans ce contexte et vise à remplacer le triac dans des applications spécifiques sur le réseau 230V – 50Hz à faible niveau de courant.

Depuis le début des années 80, de nombreux travaux ont été publiés [1-13] pour remédier aux limitations du TRIAC [14]. Parmi les structures proposées dans la littérature, l'étude de A. Nakagawa [1] porte sur un Double – Side IGBT (DS-IGBT). Cette structure issue de l'intégration monolithique de deux IGBT mis en antiparallèle est bidirectionnelle en courant et en tension. De plus, elle est faiblement dissipatrice à la commutation en raison de l'efficacité d'évacuation des porteurs apportée par la commande des grilles situées sur les deux faces du wafer. Son inconvénient majeur est lié à la présence de grilles MOS sur les deux faces du substrat et nécessite de ce fait des développements technologiques supplémentaires pour la réalisation de boîtiers spécifiques. La structure «planar MOS – gated AC switch» décrite par Mehrotra et *al.* [2] permet de s'affranchir des inconvénients liés à la présence de grilles sur les deux faces du substrat. Toutefois, bien que résolvant le problème, des commandes des grilles MOS et de packaging, elle présente à un courant de fuite important à l'état bloqué inverse [3]. A. Bourennane et *al.* [4-6] ont proposé des structures MOS-thyristor bidirectionnelles ayant leurs électrodes de puissance et de commandes sur une seule face du substrat, ce qui permet notamment de faciliter l'encapsulation des dispositifs. Toutefois, ces composants sont commandés uniquement à la fermeture, l'ouverture de ces dispositifs s'effectuant naturellement au passage par zéro du courant. Une technique de collage à haute température de substrats silicium a été développée par A. Bourennane et *al.* [7] pour réaliser un IGBT bidirectionnel contrôlable à la fermeture et à l'ouverture, les électrodes de grilles étant commandées par rapport à deux électrodes de potentiels différents. Il faut noter que l'encapsulation de l'IGBT bidirectionnel est complexe. H. Tahir et *al.* [8] ont travaillé sur une structure IGBT bidirectionnelle intégrée monolithiquement et à électrodes coplanaires et qui présente une chute de tension supérieure à 2V. F. Heinke et *al.* [9] ont étudié une structure d'interrupteur reposant sur l'utilisation de structures qui n'utilisent pas de diffusions de type P pour l'injection des porteurs ou pour supporter la tension. Malgré ses propriétés intéressantes : commande à l'ouverture et à la fermeture, contrôle des temps de commutation via ses deux grilles de commande, le MBS nécessite une technologie de fabrication complexe, problème accru par la présence de ses deux électrodes sur les deux faces du substrat. Ces difficultés ont conduit au développement d'une structure MBS latérale [13].

2. Description du fonctionnement du BipAC

La vue en coupe de la structure BipAC ainsi que son schéma électrique simplifié sont représentés en figure 1. Il s'agit d'un transistor bipolaire de type PNP dont la région N^+ située sur la face avant de la structure est utilisée pour fournir le courant de base nécessaire au transistor PNP pour fonctionner.

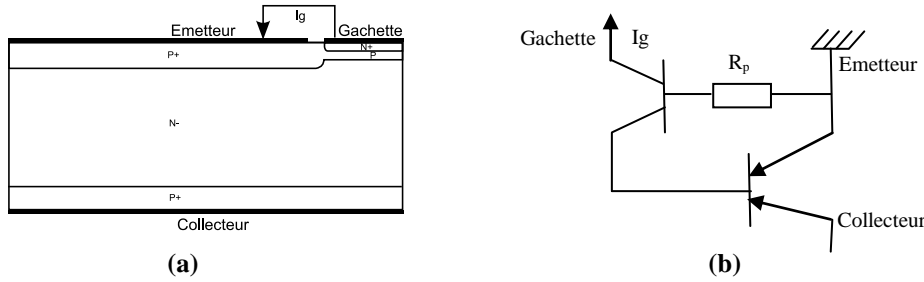


Figure 1 : (a) vue en coupe, (b) Schéma électrique simplifié

2.1 Etat passant

Dans le premier quadrant ($V_{CE} > 0$) (figure 2(a)), la mise en conduction du BipAC s'effectue par application d'un courant de gâchette (I_g négatif (sortant)). Cela permet la mise en conduction de la jonction P^+/N^+ la gâchette. Des électrons sont ainsi injectés dans la base P, une partie d'entre eux atteint la zone de drift N^- et constitue le courant de base du transistor $P^+N^-P^+$. Pour des raisons de neutralité électrique dans la zone N^- , des trous sont injectés par la région P^+ du collecteur dans la zone N^- . Une partie de ces trous se recombine et l'autre partie est collectée par la région P^+ de l'émetteur.

Dans le troisième quadrant ($V_{CE} < 0$) (figure 2(b)), la mise en conduction du BipAC s'effectue comme précédemment par application d'un courant de gâchette (I_g négatif (sortant)). Cela permet la mise en conduction de la jonction P^+/N^+ de gâchette. Des électrons sont injectés dans la base P, une partie d'entre eux atteint la zone de drift N^- et constitue le courant de base du transistor $P^+N^-P^+$. Là encore, pour des raisons de neutralité électrique dans la zone N^- , des trous sont injectés par la région P^+ de l'émetteur dans la zone N^- . Une partie de ces trous se recombine et l'autre partie est collectée par la région P^+ du collecteur.

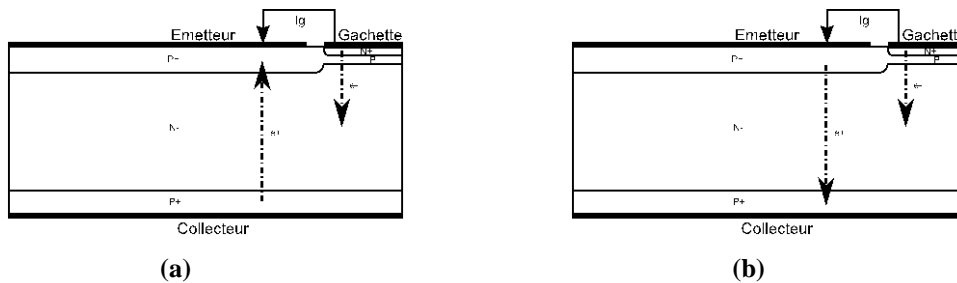


Figure 2 : Fonctionnement premier quadrant (a), troisième quadrant (b)

2.2 Etat bloqué

A l'état bloqué, la jonction gâchette-émetteur est maintenue bloquée. Pour une tension $V_{CE} > 0$, c'est la jonction N^-/P^+ de la face avant qui est polarisée en inverse. Une terminaison de jonction de type JTE permettra d'atteindre la tension de claquage de 600 V recherchée. Pour une tension $V_{CE} < 0$, c'est la jonction N^-/P^+ située sur la face arrière est polarisée en inverse. Une terminaison de jonction de type JTE en face avant de la puce de silicium combinée avec un mur P^+ traversant (figure 3) permettra au composant de supporter la tension de 600 V recherchée.

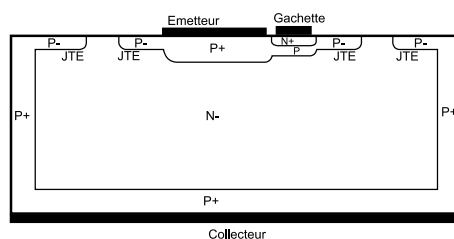


Figure 3 : Vue en coupe simplifiée montrant la disposition des JTE et murs P^+

3. Structure BipAC à plusieurs doigts de gâchette

Pour éviter l'utilisation de doigts de gâchette de longueur (direction Z) importante et conduisant à une distribution non-uniforme des lignes de courant tout au long du doigt de gâchette, nous utilisons des doigts de gâchette courts mais que l'on répète selon l'axe x (figure 4).

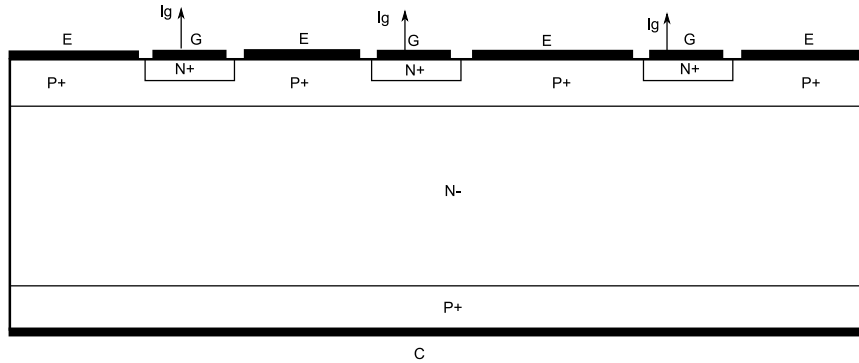
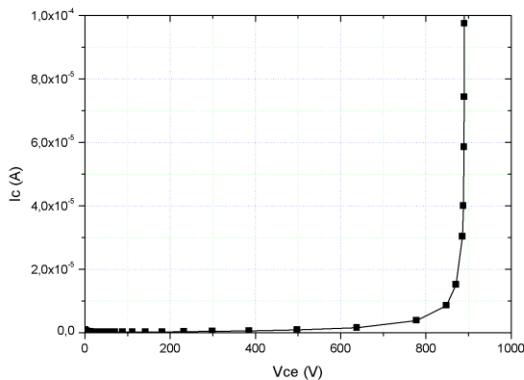


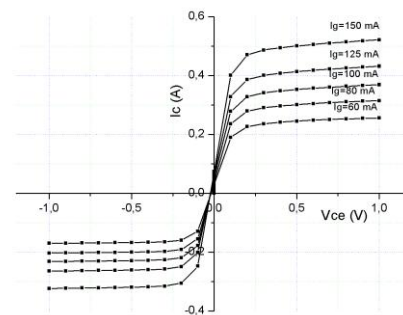
Figure 4 : Vue en coupe d'une structure comportant plusieurs doigts de gâchette

4. Résultats de simulations

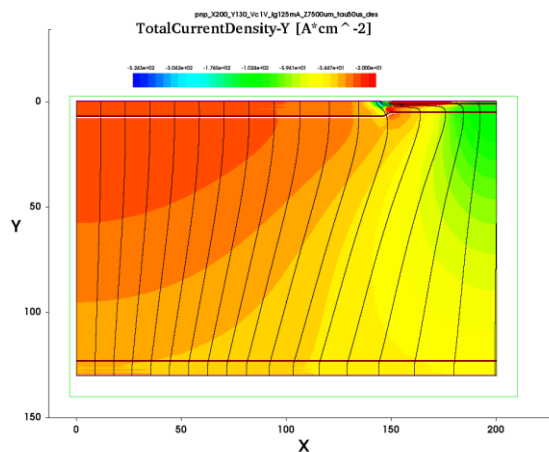
Nous avons simulé une structure BipAC réalisable par la technologie IGBT du LAAS. Les paramètres utilisés sont : largeur de la structure = 200 μm , épaisseur substrat = 130 μm , largeur de la région N^+ de cathode = 50 μm et durée de vie des porteurs : ($\tau_p = \tau_n = 10 \mu\text{s}$). Les caractéristiques $I_c(V_{CE})$ sont données ci-dessous figure 5(b) et les lignes de courant dans la structure en figure 5(c). Avec les paramètres géométriques et physiques utilisés, le composant est capable de supporter une tension supérieure à 600 V, de faire transiter un courant de l'ordre de 0,5 A, tout en présentant une chute de tension inférieure à 1V.



(a) Tenue en tension



(b) Caractéristiques $I_c = f(V_{CE})$ à l'état passant



(c) Lignes de courant dans la structure à l'état passant

Figure 5. Résultats de simulation

5. Conclusion

Nous présentons dans cet article une structure bipolaire (BipAC) adaptée pour des applications spécifiques sur le réseau (230V – 50Hz) et un courant efficace de l'ordre de 1A. Le BipAC présente à l'état passant une chute de tension inférieure au volt ce qui rend cette structure intéressante comparée aux composants de type triac, IGBT ou thyristor. De plus, ce dispositif est commandable à l'ouverture et à la fermeture par rapport à une seule électrode de référence. La structure BipAC est en cours de réalisation en utilisant la filière IGBT au LAAS. Des résultats expérimentaux seront fournis dans l'article final.

6. Références

- [1] A. NAKAGAWA, "Numerical experiment for 2500 V double gate bipolar-mode MOSFETs (DGIGBT) and analysis for large safe operating area (SOA)", PESC'88, pp. 88 – 90, 1988.
- [2] M. MEHROTRA, B. J. BALIGA, "A planar MOS – Gated AC Switch Structure", IEEE IEDM, pp. 349 – 350, 1995.
- [3] J.S.T. Huang: 'The bilateral emitter switched thyristor', IEEE IEDM, 1992.
- [4] A. Bourennane, M. Breil, J-L. Sanchez, P. Austin, J.Jalade, " New triggering mode in a vertical bi-directional MOS-thyristor device", Microelectronics Journal 35(3):277-285 (2004).
- [5] A. Bourennane, M. Breil, J-L. Sanchez, J. Jalade, " A vertical monolithic MOS-Thyristor bidirectional device", Microelectronics Journal 37 (3): 223-230 (2006).
- [6] A. Bourennane, M. Breil, J-L. Sanchez, P. Austin, J.Jalade, " New MOS-triac structures for specific mains applications" European Power Electronic-Power Electronic Motion and Control conference, Dubrovnik 2002.
- [7] A. Bourennane, H. Tahir, J-L. Sanchez, L. Pont, G. Sarabayrouse, E. Imbernon, "A high temperature wafer bonding technique for the realization of a voltage and current bidirectional IGBT", ISPSD 2011, San Diego, California.
- [8] H. Tahir, A. Bourennane J-L. Sanchez, C. Crebier, L. Pont, G. Sarabayrouse, "A monolithically integrated vertical bidirectional IGBT having all the electrodes on the front-side", EPE 2011, Birmingham, United Kingdom.
- [9] F. Heinke, R. Sittig, « The Monolithic Bidirectional Switch (MBS) », ISPSD'00, pp. 237 – 240, 2000.
- [10] J.D. Plummer, B.W. Scharf, "Insulated gate planar thyristors: I- Structure and Basic Operation", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.ED-27, NO.2, February 1980.
- [11] Shuming xu, Rainer Constapel, and Dieter Silber, CTC: a CMOS Thyristor Cascode. Proceedings of the 1998 ISPSD, Kyoto, pp 159-162.
- [12] Yuming Bai, Alex Q. Huang, "Comprehensive investigations of high voltage non-punch-through double gate-injection enhanced gate transistor", solid state electronics 44 (2000), pp. 1783-1787.
- [13] M. Baus, B. N. Szafranek, St. Chmielus, M. C. Lemme, B. Hadam, B. Spangenberg, R. Sittig, H. Kurz, « Fabrication of Monolithic Bidirectional Switch (MBS) devices with MOS – controlled emitter structures », ISPSD'06, 2006.
- [14] F.E. Gentry, R.I Scafe, and J.K. Flowers:'Bidirectional Triode P-N-P-N Switches', Proc. Of the IEEE, pp.355-369, 1964.