



HAL
open science

Amélioration des performances du thyristor à l'état bloqué en haute température

Gaëtan Toulon, Karine Isoird, Abdelhakim Bourennane

► **To cite this version:**

Gaëtan Toulon, Karine Isoird, Abdelhakim Bourennane. Amélioration des performances du thyristor à l'état bloqué en haute température. Conférence Electronique de Puissance du Futur (EPF 2012), Jul 2012, BORDEAUX, France. 4 p. hal-01005931

HAL Id: hal-01005931

<https://hal.science/hal-01005931>

Submitted on 13 Jun 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.

Amélioration des performances du thyristor à l'état bloqué en haute température

Gaëtan TOULON^{1,2}, Karine ISOIRD^{1,2}, Abdelhakim BOURENNANE^{1,2}
¹CNRS, LAAS; 7, Avenue du Colonel Roche; F-31400 Toulouse, France
²Univ de Toulouse; UPS, LAAS; F-31400 Toulouse, France

Nous présentons dans cet article une architecture thyristor silicium présentant de meilleures caractéristiques à l'état bloqué en haute température. L'amélioration de la tenue en tension, par rapport à un thyristor classique, est rendue possible par une utilisation judicieuse de contacts Schottky sur la face arrière d'un thyristor classique. La présence d'un tel contact permet de réduire l'injection de trous de l'émetteur P⁺ face arrière dans la base N, et par conséquent de diminuer le courant de fuite à l'état bloqué et ainsi améliorer la tenue en tension directe à températures élevées. Nous étudions, à partir de simulation TCAD, l'effet de la technique sur une structure thyristor 5 kV symétrique en tension sur ses caractéristiques électriques que nous comparerons à celles d'une structure thyristor classiques et à courts-circuits d'anode.

I. INTRODUCTION

Dans les applications de forte puissance, telles que les réseaux de transmission haute tension à courant continu (HVDC [1]) ou les applications de puissance pulsée [2], les thyristors sont usuellement utilisés comme interrupteurs car, parmi les composants semi-conducteurs de puissance, ils peuvent commuter la plus forte densité de puissance. Cependant, l'architecture du thyristor, à savoir l'imbrication de quatre couches de dopages formant les deux transistors bipolaires P-N-P et N-P-N, limite sa température de fonctionnement. Pour les thyristors silicium, cette température limite est de 125 °C. Sous l'effet de la température, le courant de fuite augmente, amplifié par le gain des transistors, il induit une mise en conduction parasite.

Par ailleurs, le courant de fuite élevé lié à la température peut engendrer une dégradation du fonctionnement de l'application dans certains cas. Dans les circuits de puissance pulsée comme celui représenté figure 1 [3], où un condensateur se charge tant que le thyristor reste à l'état bloqué et se décharge dans un circuit R-L lors de l'amorçage du thyristor. Or, à température élevée lorsque le courant de fuite du thyristor est important, une partie du courant voué à la charge du condensateur sera dévié par le thyristor et circulera par le circuit en aval de celui-ci ralentissant la charge du condensateur.

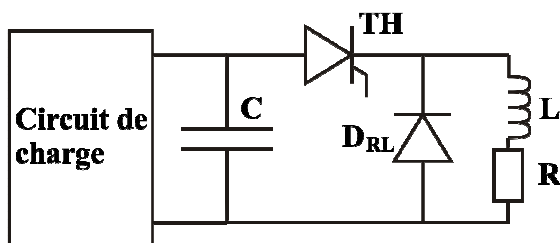


Figure 1 : Exemple de circuit de puissance pulsée mettant en évidence le rôle du thyristor.

Il existe plusieurs techniques pour réduire le gain du thyristor à l'état bloqué parmi lesquelles :

L'irradiation locale en électrons pour réduire la durée de vie et ainsi augmenter la recombinaison [4].

L'utilisation de couche tampon fortement dopée entre base N⁻ et émetteur P⁺ comme utilisé dans les structures asymétriques.

L'ajout de courts-circuits d'anode [5]

Néanmoins, les deux dernières techniques ne permettent pas de conserver le pouvoir de blocage en inverse du thyristor, ce qui nécessite l'ajout de composants supplémentaires, tels qu'une diode en série avec le thyristor.

L'utilisation du carbure de silicium, de par ses propriétés physiques, pourrait être envisagée. Cependant, plusieurs verrous nécessitent d'être levés, à savoir : la réduction des dislocations suivant le plan de base (*basal plane dislocations*) entraînant une forte dégradation de la durée de vie des porteurs dans le volume, ce qui a pour conséquence d'augmenter la chute de tension à l'état passant, ou bien le développement de terminaisons adaptées pour l'obtention d'une tenue en tension symétrique [6].

Le courant de fuite du thyristor à haute température peut aussi être à l'origine des courants de surface au niveau de la périphérie du composant [7]. Bien que le présent article ne traite pas de ce problème, il est nécessaire de travailler la terminaison [8] afin de réduire ces courants qui peuvent présenter une part importante du courant de fuite du thyristor.

En conséquence, nous proposons une méthode basée sur l'utilisation de contacts Schottky sur la face arrière du thyristor silicium comme présenté sur la figure 2. L'intérêt d'un tel contact est qu'il permet, d'une part de réduire l'efficacité d'injection de la jonction J₂ face arrière, et d'autre part de préserver le pouvoir bloquant en inverse du dispositif. Nous mènerons, au travers de simulations TCAD, une étude sur l'impact, à l'état bloqué et à l'état passant des différents paramètres physiques et géométriques de la structure.

II. PRINCIPE

Le courant de fuite dans une structure thyristor à l'état bloqué est donné par la relation suivante :

$$I_{AK} = \frac{I_{C0}}{1 - \alpha_{PNP} - \alpha_{NPN}} \quad (1)$$

Où I_{C0} est le courant de fuite de la jonction PN en inverse et α_{PNP} et α_{NPN} les gains des transistors bipolaires qui composent le thyristor représentés sur la figure 2. Le retournement dû au déclenchement parasite du thyristor se produit lorsque la somme des gains des deux transistors est égale à 1.

La réduction du courant de fuite dans le thyristor peut être obtenue en réduisant les différents paramètres de l'équation 1. Le courant de fuite I_{C0} dépend du dopage de la base N et donc de la tenue en tension car cette région assure la haute tension. L'ajout de courts-circuits de cathode, habituellement utilisé dans les thyristors commercialisés permet de réduire fortement le gain du transistor N-P-N à l'état bloqué par le biais d'une résistance R_{Base} (figure 2) reliant la base à l'émetteur de ce transistor. La configuration de ces courts-circuits de cathode [9] a une influence sur le gain en courant, mais aussi sur le courant d'amorçage par la gâchette et sur la tenue en dV/dt . Le gain du transistor P-N-P peut quand à lui être réduit par les différentes méthodes présentées en introduction. Nous proposons une solution utilisant une association de contacts Schottky et de diffusions P+ comme utilisé dans les diodes JBS (*Junction Barrier Schottky*) [10] au niveau du contact d'anode, comme représenté sur la figure 2 (a), à la place d'un émetteur P+ dans le cas d'un thyristor classique.

III. RESULTATS DE SIMULATION

A. Structures étudiées

Trois structures de thyristor silicium symétriques en tension sont étudiées : une structure classique, une utilisant des contacts Schottky en face arrière (figure 2 (a)), et une structure à courts-circuits d'anode (figure 2 (b)). Cette dernière est identique à celle de la précédente à l'exception d'un contact ohmique sur des diffusions N^+ à la place des contacts Schottky. Afin d'avoir une tenue en tension symétrique, la base N doit être uniformément et faiblement dopée et les régions P qui l'encadrent comparativement très dopées. Des courts-circuits de cathode sont ajoutés dans toutes les structures pour les raisons citées précédemment.

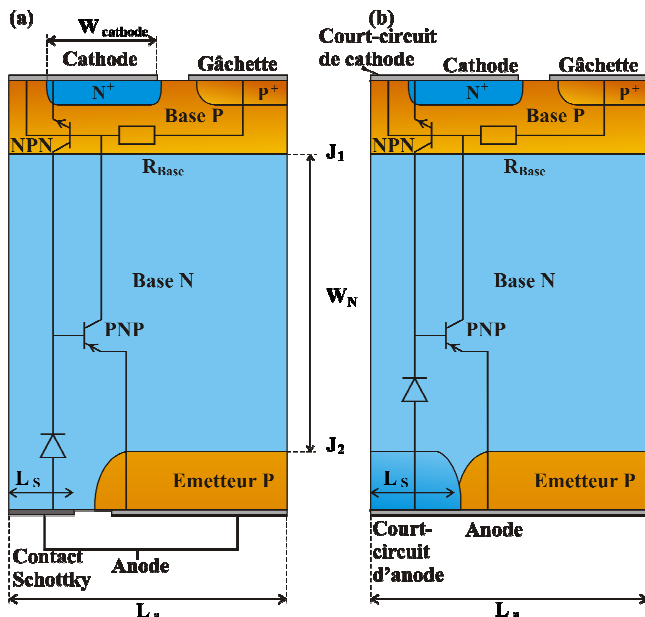


Figure 2 : Coupe schématique de la structure à thyristor (a) avec contact Schottky et (b) à court-circuit d'anode.

B. Etat bloqué

Nous représentons sur la figure 3 la tenue en tension directe de trois structures en fonction du dopage et de l'épaisseur de la base N.

Pour les faibles valeurs de dopage, la tenue en tension est limitée par le perçage de la base N (zone (1) sur la figure 3), tandis que pour les valeurs plus élevées, elle est limitée par le claquage par avalanche de la jonction J_1 polarisée en inverse (zone (2) sur la figure 3). A la frontière entre ces deux zones, la tenue en tension est maximale pour une épaisseur de base N donnée. Sur la figure 3, pour une épaisseur W_N donnée, l'ajout de contacts Schottky, tout comme les courts-circuits d'anode permettent d'améliorer la tenue en tension directe.

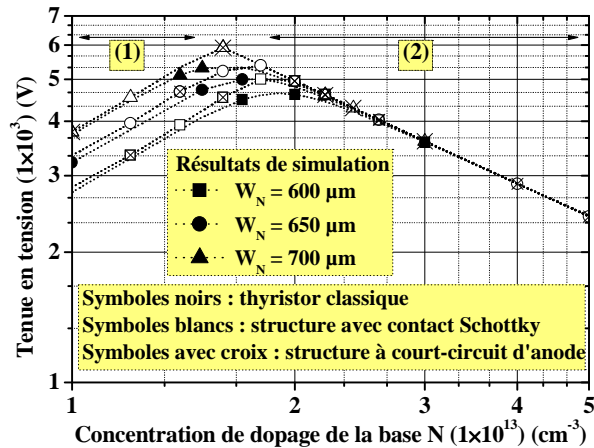


Figure 3 : Effet des paramètres de la base N sur la tenue en tension directe sur de 3 structures de thyristor.

Or, à l'état bloqué, le courant de fuite d'un contact Schottky peut se révéler être important à cause du phénomène d'abaissement de barrière sous la présence d'un champ électrique à l'interface [11]. Toutefois, la dégradation du courant de fuite peut être limitée par un fort resserrement entre deux diffusions P^+ préservant le contact Schottky d'une trop forte augmentation du champ électrique, comme utilisé dans les diodes JBS. La figure 4 montre cet effet : les contacts Schottky doivent être étroits, sans quoi, les caractéristiques à l'état bloqué inverse du thyristor seront médiocres.

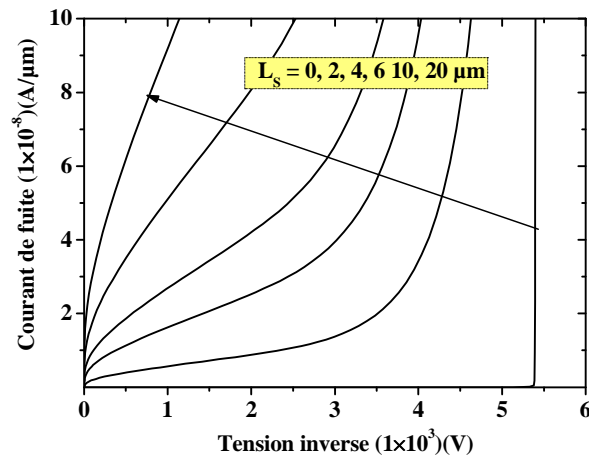


Figure 4 : Influence de la largeur du contact Schottky sur le courant de fuite en inverse, la valeur $L_s = 0$ correspondant à une jonction PN plane.

Sur la figure 5 sont représentées les caractéristiques en inverse des thyristors standard et avec contacts Schottky à différentes températures. L'anode de cette dernière structure a été définie en tenant compte des résultats de la figure précédente. A température donnée, les deux structures présentent la même tenue en tension. Cependant la présence des contacts Schottky entraîne une augmentation importante du courant de fuite et une transition moins abrupte à l'avalanche à cause du phénomène d'abaissement de barrière sous la présence du champ électrique.

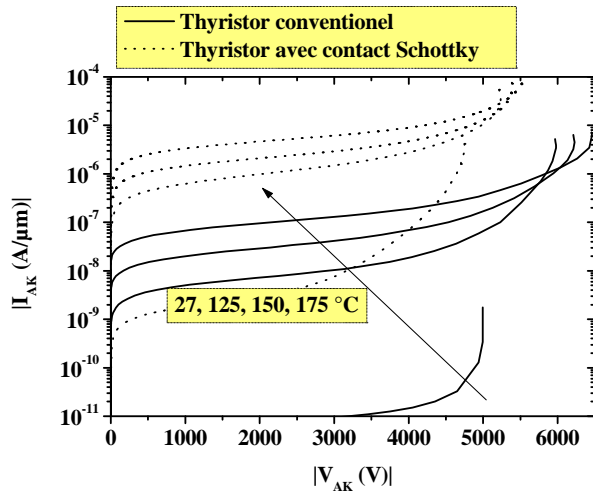


Figure 5 : Evolution des caractéristiques bloquées inverses des thyristors standard et avec contacts Schottky.

La figure 6 montre l'effet de la température sur la tenue en tension directe pour les différentes structures. Quelle que soit la structure, une largeur de diffusion N^+ de cathode W_{N^+} faible améliore la tenue en tension. Cependant, une réduction de la largeur du N^+ repousse le niveau de courant pour l'amorçage du thyristor. En effet, la résistance de la base P R_{Base} (voir figure 2) est proportionnelle à la longueur W_{N^+} , ce qui signifie que le niveau de courant traversant cette résistance pour rendre passante la jonction PN entre base P et N^+ de cathode devra être plus important que la résistance sera faible.

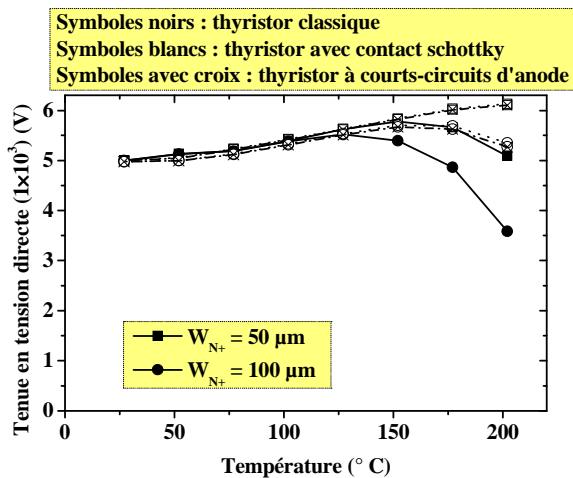


Figure 6 : Influence de la température sur la tenue en tension directe.

A largeur de cathode W_{N^+} fixe, l'ajout de contacts Schottky du côté de l'anode permet de réduire l'efficacité

d'injection de la jonction J_2 car une partie des porteurs sont déviés par ces contacts Schottky, ce qui permet d'atteindre une tension de claquage équivalente à celle d'un thyristor conventionnel mais à une température plus élevée. L'évolution de la tenue en tension avec la température des thyristors à courts-circuits d'anode est identique à celles des composants à contact Schottky, ce qui montre que l'utilisation d'un contact Schottky est aussi efficace qu'un court-circuit d'anode.

La caractéristique bloquée directe des trois structures est représentée sur la figure 7 à différentes températures. Le courant de fuite, plus faible dans le cas des structures à contact Schottky et à court-circuit d'anode permet d'atteindre des tensions de retournement plus élevées et donc de fonctionner à des plus hautes températures.

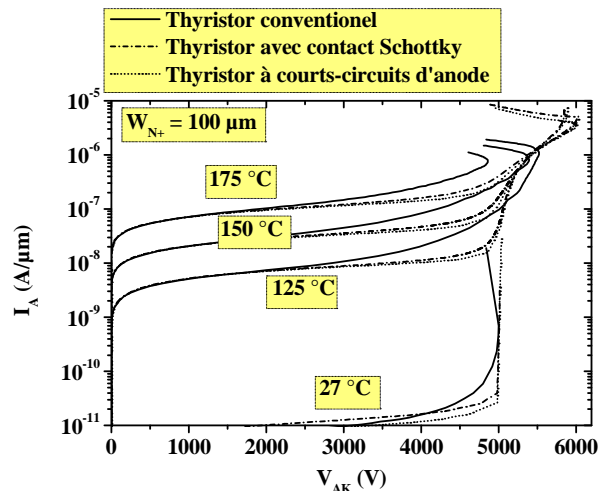


Figure 7 : Caractéristiques à l'état bloqué direct des différentes structures pour plusieurs températures.

On constate sur la figure 8 que l'accroissement de la largeur des contacts Schottky (L_s) par rapport au contact d'anode (L_a) améliore légèrement la tenue en tension directe. Aux températures les plus élevées, là où l'amélioration de la tenue en tension est la plus marquée, l'élargissement du contact Schottky n'offre un gain que de quelques centaines de volts.

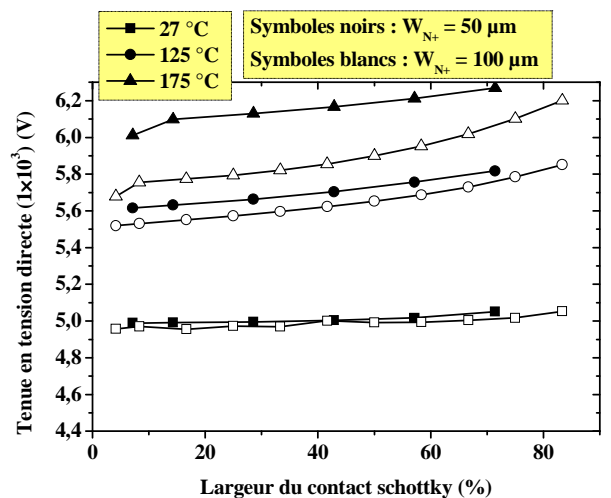


Figure 8 : Tenue en tension directe en fonction du rapport L_s sur L_a à différentes températures.

C. Etat passant

Sur la figure 9 est représentée la chute de tension à l'état passant des différentes structures en fonction du rapport L_s sur L_a pour une densité de courant de 200 A.cm^{-2} à température ambiante.

L'augmentation de la largeur des contacts Schottky ou des courts-circuits d'anode (L_s) entraîne une réduction de celle des émetteurs P. Un émetteur moins large injecte moins de porteurs dans la base N, et par conséquent la conductivité de cette région est plus faiblement modulée, ce qui conduit à l'augmentation de la chute de tension à l'état passant. Cette augmentation de la chute de tension est plus importante dans le cas des transistors à courts-circuits d'anode. Pour les largeurs d'émetteurs plus importantes, la chute de tension tend vers celle d'un thyristor classique.

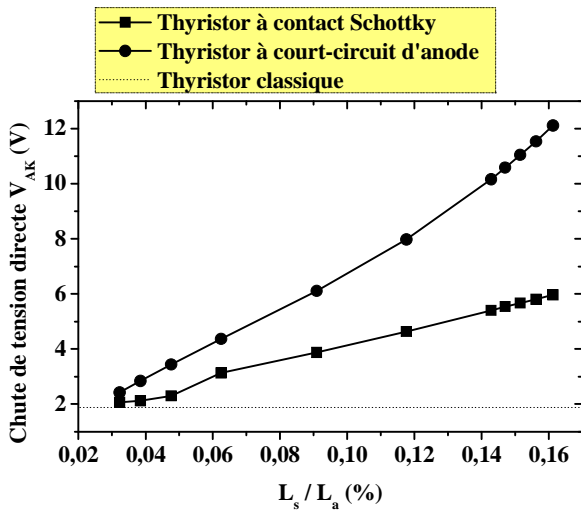


Figure 9 : Chute de tension directe en fonction du rapport L_s sur L_a pour une densité de courant de 200 A.cm^{-2} .

Or, comme il l'a été montré sur la figure précédente, l'élargissement du contact Schottky par rapport à l'émetteur P+ n'apporte que peu de gain sur les caractéristiques à l'état bloqué. La surface des contacts Schottky devra donc être petite en comparaison avec celle des émetteurs P afin de ne pas dégrader les caractéristiques à l'état passant.

IV. CONCLUSION

Nous avons étudié l'impact de l'insertion d'un contact Schottky sur la face arrière d'un thyristor symétrique en tension sur ses performances électriques à l'état passant et à l'état bloqué en haute température. La réduction du gain du transistor P-N-P, rendue possible par les contacts Schottky, permet au thyristor de réduire le courant de fuite à l'état bloqué par rapport à un composant conventionnel. De ce fait il est mieux adapté pour des températures élevées. La comparaison avec le thyristor à courts-circuits d'anode montre que l'utilisation de contacts Schottky apporte les mêmes améliorations dans le sens direct tout en préservant le pouvoir de blocage en inverse.

V. REFERENCES

- [1] H. Peter Lips, « Technology Trends for HVDC thyristor Valves », Int. Conf. on Power System Technology, 1998, pp 451-455.
- [2] E. Spahn et al. « The use of Thyristors as Main Switches in EML Applications », IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 29 (1), 1993, pp 1060-1065.
- [3] S. Scharnholz et al. « Performance study of a novel 13.5 kV multichip thyristor switch », Int. Pulsed Power Conf. 2009, pp 679-682.
- [4] T. Nakagawa et al. « 8kV/3.6kA Light Triggered Thyristor », Int. Synops. On Power Semicond. Devices, 1995, pp 175, 180.
- [5] R. A. Kokosa et al. « A High-Voltage, High-Temperature Reverse Conducting Thyristor », IEEE Trans. Electron Devices, Vol 17 (9), 1970, pp 667-672.
- [6] Q. Zhang et al. « SiC super GTO thyristor for technology development: Present status and future perspective », Int. Pulsed Power Conf, 2011, pp 1530-1535.
- [7] V. V. N. Obreja et al. « The Operation Temperature of Silicon Power Thyristors and the Blocking Leakage Current », IEEE Power Electronics Specialists Conf. 2004, pp 2990-2993
- [8] V. V. N. Obreja et al. « On the High Temperature Operation of High Voltage Power Devices », European Solid-State Device Research Con. 2002, pp 1-4.
- [9] A. Munoz-Yague et al. « Optimum Design of Thyristor Gate-Emitter Geometry », Trans. Electron Devices, Vol 23 (8) 1976, pp 917-924.
- [10] B. J. Baliga, « The Pinch Rectifier: A Low-Forward-Drop High-Speed Power Diode », IEEE Electron Device Letters, Vol. 5 (6), 1984, pp 194-196
- [11] F. Lanois et al. « Caractéristiques électriques simulées et expérimentales de composants Schottky en tranchées », Electronique de Puissance du Future, 2004, pp 1-4.