

# Conception de thyristors SiC permettant l'étude de l'amplification interne de l'allumage

Sigo SCHARNHOLZ<sup>a</sup>, Luong Viêt PHUNG<sup>b</sup>, Dominique TOURNIER<sup>b</sup>, Bertrand VERGNE<sup>a</sup>, Ralf HASSDORF<sup>a</sup>, Pierre BROSELARD<sup>b</sup> et Dominique PLANSON<sup>b</sup>

<sup>a</sup> ISL, Saint Louis, France ; <sup>b</sup> Laboratoire Ampère, INSA de Lyon, Villeurbanne, France

**RESUME** – Cette contribution présente la conception d'un thyristor SiC et les résultats de simulation par éléments finis. Ce travail vise à une étude expérimentale du comportement dynamique d'un thyristor SiC avec gâchette amplificatrice. Ce type de thyristor n'a pas été étudié pour l'instant en détail pour le SiC. Pourtant, avec l'amélioration constante de la qualité des wafers de SiC et des diamètres accessibles, l'intégration d'un système de commande avec une amplification interne de l'allumage devient un concept essentiel pour les thyristors de puissance à base de SiC.

**MOTS-CLES** – Carbure de silicium, SiC, thyristor, GTO, LTT, AGT, gâchette amplificatrice.

## 1. Introduction

L'électronique de puissance est une technologie clé permettant l'utilisation efficace des ressources électriques aussi bien pour les réseaux de distribution que pour les plateformes mobiles autonomes. Grâce à ses propriétés physiques exceptionnelles, le carbure de silicium (SiC) est le matériau semi-conducteur de choix pour la réalisation de diodes et thyristors qui seront intégrés dans les futures applications de fortes puissances comme les convertisseurs et les applications pulsées. La gâchette amplificatrice représente la meilleure structure de commande pour les composants silicium de grandes dimensions comme les thyristors à contrôle de phase PCT (phase control thyristor) et les thyristors à commande optiques LTT (light triggered thyristor) [1]. Avec l'amélioration constante de la qualité des wafers de SiC et des diamètres accessibles, l'intégration d'un système de commande avec une amplification interne de l'allumage devient un concept intéressant pour les thyristors à base de SiC.

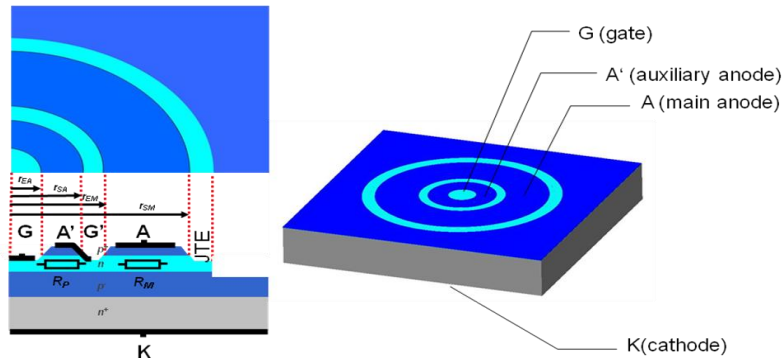
L'objectif global des travaux décrits dans cette contribution est l'application du concept d'une gâchette amplificatrice dans un thyristor SiC. Le concept, bien connu dans la technologie silicium (PCT et LTT) est appliqué pour réduire la puissance nécessaire au déclenchement du thyristor. Une surface plus grande entre l'électrode de contrôle (gâchette) et l'anode (cathode dans le cas d'un thyristor silicium) permet d'augmenter la capacité en courant à la fermeture du thyristor. Pour ces thyristors de grande taille, l'intégration d'une gâchette amplificatrice est incontournable. Cela permettra de répondre aux futurs besoins civils (ferroviaire) et militaires (puissance pulsée). A cause de la taille des puces SiC actuellement accessibles, le concept d'une gâchette amplificatrice n'a été pour l'instant jamais étudié en détail. Uniquement dans des thyristors à commande optique (LTT), qui commencent à être développés sur le SiC depuis peu de temps [2], ce concept a été appliqué d'une manière simple [3]. C'est pourquoi, nous avons lancé cette étude approfondie sur une ou plusieurs variantes du système de commande avec une amplification interne de l'allumage, telle que la gâchette amplificatrice [4].

## 2. Conception du composant

Cette étude vise à réaliser un grand nombre de thyristors SiC avec des paramètres géométriques et technologiques différents. Puisqu'il s'agit d'une étude fondamentale, les composants n'ont pas besoin d'avoir des performances élevées. En conséquence, il apparaît suffisant de réaliser des thyristors de 1,2 kV ayant une taille moyenne de 10 mm<sup>2</sup> au maximum. Cela permet d'économiser sur les coûts du matériau SiC (wafer) et de maximiser les chances d'obtenir des composants fonctionnels (densité de défauts). L'accent du travail est clairement mis sur le design de la structure anode-gâchette qui a été variée de manière appropriée pour pouvoir déduire les effets spécifiques mis en jeu dans le SiC. Ceci est fait à l'aide de simulations par éléments finis, qui servent non seulement à trouver un bon point de départ

au niveau de l'architecture, mais aussi à analyser en détail les résultats issus de la caractérisation électrique. Cette dernière permettra d'optimiser et de valider les paramètres de simulation.

Basé sur les résultats de projets précédents [5], une structure de thyristor SiC (plaque avec couches épitaxiées) a été conçue et les paramètres, pour une première série de dimensionnements, ont été définis. Ceci a permis de mettre en valeur les paramètres géométriques importants liés à une structure AGT avec et sans émetteur court-circuité et de définir les premières variations géométriques à explorer. La structure principale est montrée sur la figure 1. L'article final contiendra les principales dimensions du composant basées sur les simulations correspondantes, les paramètres du wafer épitaxié, quelques détails du procédé de fabrication et des niveaux de masques.



**Figure 1 : Structure du thyristor SiC conçu, contenant un thyristor dit pilote ou auxiliaire (G et A') et un thyristor principal (G' et A).**

### 3. Résultats de simulation

Pour étudier le fonctionnement du composant, des simulations ont été effectuées en utilisant le logiciel Sentaurus™. Dans un premier temps, des simulations statiques ont servi à définir le véhicule de test, un thyristor 1200V. Cela a permis de choisir les paramètres technologiques tels que les résistances de contact, le profil de gravure et la nature/épaisseur de la couche de passivation.

Puis, l'influence de différentes géométries de la structure gâchette-anode a été étudiée en simulation d'un point de vue dynamique. La structure simulée est représentée sur la figure 1. Pour vérifier l'allumage séquentielle des deux thyristors, le rapport entre les résistances R<sub>P</sub> et R<sub>M</sub> a été varié de part et d'autre du critère de conception d'une gâchette amplificatrice. Cela a été réalisé en faisant varier les distances latérales de l'anode auxiliaire (A'). En plus, l'influence de courts-circuits d'anode sur le comportement de commutation a été analysée.

### 4. Conclusion

La conception du composant et les résultats de simulation par éléments finis, présentés dans cette contribution, ont pour but la réalisation et l'étude expérimentale du comportement dynamique d'un thyristor SiC avec gâchette amplificatrice. Les simulations montrent le bon fonctionnement du composant conçu et elles donnent des indications sur la tolérance des paramètres technologiques tels que la résistance de contact ou le dopage de la base n. L'objectif final est de déterminer la dynamique de l'allumage de ce type de thyristors en SiC et de la comparer à celle des thyristors en silicium. Ainsi le modèle de simulation qui sert à dimensionner des thyristors très haute tension ( $\geq 10$  kV) pourra être finalement validé.

Les auteurs remercient la DGA pour le soutien financier dans le cadre du projet AGaThE (ANR-11-ASTR-01101).

### 5. Références

- [1] Niedernostheide F.J., Schulze H.J., Felsl H.P., Laska T., Kellner-Werdehausen U., and Lutz J., « Thyristors and IGBTs with Integrated Self-protection Functions », IET J. Circuits Devices Syst., vol.1, pp.315, 2007.
- [2] N. Dheilily, D. Planson, G. Pâques, and S. Scharnholz, « Light triggered 4H-SiC thyristors with an etched guard ring assisted JTE », *Solid-State Electronics*, vol. 73, pp. 32-36, 2012.
- [3] S. L. Rumyantsev, M. E. Levinshtein, S.M. Shur, L. Cheng, A.K. Agarwal, and J.W. Palmour, « High current (1300 A) optical triggering of 12 kV 4H-SiC thyristor », *Semicond. Sci. Technol.* 28 (045016), 2013.
- [4] Gentry F.E. and Moyson J., « The Amplifying Gate Thyristor », *IEEE Int. Electron Devices Meet.*, vol.14, p.110, 1968
- [5] S. Scharnholz, G. Pâques, B. Vergne, C. Maurer, N. Dheilily, D. Planson, and R. D. Doncker, « Thyristors GTO haute tension en carbure de silicium avec terminaison JTE gravée », EPF 2012, Bordeaux (France).