



**HAL**  
open science

## Protection périphérique pour composants de puissance en diamant

Fabien Thion, Karine Isoird, Dominique Planson, Marie-Laure Locatelli

► **To cite this version:**

Fabien Thion, Karine Isoird, Dominique Planson, Marie-Laure Locatelli. Protection périphérique pour composants de puissance en diamant. 13ème EPF, Jun 2010, Saint-Nazaire, France. 4p. hal-00618708

**HAL Id: hal-00618708**

**<https://hal.science/hal-00618708>**

Submitted on 31 Jul 2018

**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.

# Protection périphérique pour composants de puissance en diamant

Fabien Thion<sup>1,2,3</sup> - Karine Isoird<sup>1,2</sup> - Dominique Planson<sup>3</sup> - Marie-Laure Locatelli<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>CNRS ; LAAS ; 7 avenue du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France

<sup>2</sup>Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France

<sup>3</sup>Université de Lyon, CNRS, Laboratoire AMPERE, UMR 5005, INSA de Lyon, F-69621 Villeurbanne, France

<sup>4</sup>Université de Toulouse; UPS, INPT; LAPLACE (Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie); 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex 9, France

<sup>5</sup>CNRS; LAPLACE; F-31062 Toulouse, France.

*Résumé — Dans cet article, la première étape de conception d'une structure de protection périphérique applicable aux composants unipolaires en diamant est présentée. Au travers de la mise en place d'une plateforme de simulation de composants diamant au LAAS et en collaboration avec le laboratoire AMPERE, une étude de protections périphériques par matériau semi-résistif a été menée. Sont ainsi montrés les résultats de simulation de diodes Schottky de type P protégées par gravure et diverses couches de matériau tels différents diélectriques ou des matériaux semi-résistifs. L'analyse des simulations réalisées sur des structures quasi-verticales protégées par une plaque de champ sur matériau semi-résistif déposé sur un diélectrique démontre l'efficacité d'une telle protection.*

## I. INTRODUCTION

Le diamant est bien connu comme étant le matériau de tous les superlatifs. Il est l'un des meilleurs conducteurs thermiques et des plus durs. Il est aussi un candidat prometteur pour l'électronique de puissance, étant donné ses nombreuses qualités théoriques. Matériau semi-conducteur à large bande d'énergie interdite [1], [2], il promet le développement futur de composants électroniques utilisables dans des conditions extrêmes [3], [4]. Les premières diodes unipolaires en diamant commencent à apparaître en laboratoire. Les substrats sur lesquels elles sont réalisées sont fabriqués par épitaxie et dopés in situ.

Tous les composants de puissance nécessitent une protection périphérique afin de limiter le champ électrique. Les propriétés différentes du diamant (permittivité, largeur de bande interdite, champ critique théorique, ...) impliquent une adaptation de celles-ci.

Avec ces premiers composants, le besoin se fait sentir de développer des structures qui vont leur permettre d'atteindre les tensions pour lesquelles ils ont été conçus, démontrant ainsi les propriétés attendues du diamant.

Afin de satisfaire ces objectifs, il faut adapter ou inventer des protections périphériques qui vont favoriser une meilleure tenue en tension. Le dia-

mant ayant un champ critique théorique extrêmement élevé, la protection périphérique va jouer un rôle prépondérant sur les performances du composant.

## II. PLATEFORME DE SIMULATION

La plateforme de simulation a été mise en place sous SENTAURUS<sup>R</sup> [5], un logiciel de calcul par éléments finis. Pour cela nous avons utilisé les modèles déjà implémentés (tels ceux du silicium ou du carbure de silicium) en adaptant les valeurs des paramètres aux propriétés du diamant. Ces valeurs sont issues d'une large étude bibliographique (tels [6], [7], ...). Toutefois, il convient de noter que certaines valeurs données dans ces publications sont soit extrapolées à partir d'autres semi-conducteurs, soit sous-estiment le comportement théorique du matériau, notamment en raison de la mauvaise qualité cristalline des échantillons disponibles pour la caractérisation. Le fichier de paramètres est mis à jour régulièrement avec les résultats expérimentaux obtenus.

## III. PROTECTION PÉRIPHÉRIQUE

### A. Principe

La protection périphérique est une structure implémentée lors du procédé technologique et qui fait partie intégrante de la conception des composants de puissance. Ce dispositif vise à obtenir une tenue en

tension proche de celle donnée par la théorie (jonction plane parallèle infinie), en étalant les équipotentielles en périphérie de la structure, ce qui a pour principal effet d'éviter les accroissements locaux du champ électrique dans le composant et qui peut conduire à son claquage prématuré.

L'efficacité d'une protection périphérique est évaluée en pourcentage de la tenue en tension théorique, qui est celle de la jonction plane parallèle infinie.

Certaines étapes, telle l'implantation ionique dans le diamant, ne sont pas encore bien maîtrisées et empêchent l'utilisation des protections habituelles, tels les anneaux de garde ou encore les JTE (Junction Termination Extension). Il faut donc imaginer des protections périphériques basées sur la gravure et des dépôts de couches de diélectriques et de métaux, comme la structure avec plaque de champ dans [8].

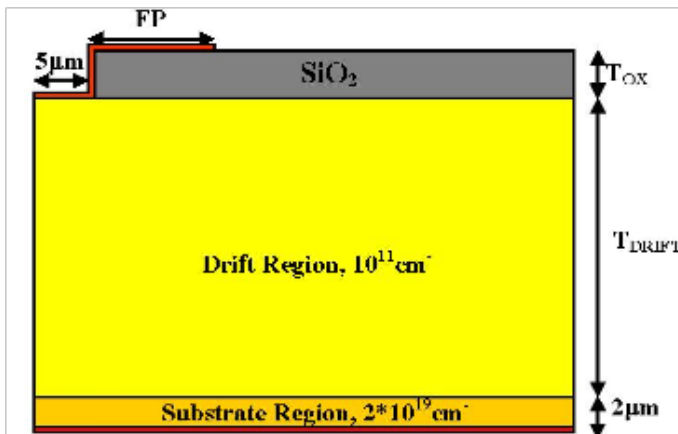


FIG. 1. Schéma de principe d'une protection par plaque de champ appliquée à une jonction Schottky verticale tiré de [8]

L'utilisation d'une couche de matériau semi-résistif est une technique alternative qui permet de minimiser le renforcement du champ électrique dans l'isolant de surface en bordure de métallisation. Les composants à base de diamant étant amenés à fonctionner à haute température, il est intéressant de s'intéresser à l'effet des matériaux semi-résistifs sur l'efficacité de la plaque de champ. En effet, beaucoup de diélectriques voient leur résistivité électrique diminuer lorsque la température augmente.

### B. Protection par plaque de champ sur un diélectrique

La structure envisagée est présentée ci-après dans la figure 2. Pour réaliser cette structure quasi-v verticale, on dépose le contact Schottky sur la couche P<sup>-</sup> dopée à  $8 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  et épaisse de  $6 \mu\text{m}$ . Pour réaliser le contact ohmique, on grave l'intégralité de la couche P<sup>-</sup> afin d'atteindre la couche P<sup>+</sup> (dopée à

$3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  et épaisse de  $5 \mu\text{m}$ ). La protection périphérique est réalisée par un dépôt d'un ou plusieurs diélectriques recouvert en partie par le métal de contact. Dans un premier temps, l'étude est réalisée sur un seul diélectrique, puis sur un empilement d'un matériau semi-résistif sur le diélectrique choisi. La tenue en tension idéale (tenue en tension de la jonction plane infinie correspondante) d'une telle diode est de 1500V à 300K. Cette tenue en tension évolue jusque 1990V à 800K, la température à laquelle les simulations sont réalisées afin de faciliter la convergence. En considérant une efficacité de protection périphérique de 80%, on devrait atteindre les 1200V désirés pour la structure réelle à 300K.

La plaque de champ est caractérisée par deux paramètres principaux :

- l'épaisseur du/des diélectrique(s)
- la longueur du recouvrement par le métal du contact sur le diélectrique.

Dans un premier temps, le diélectrique est choisi parmi ceux disponibles dans la salle blanche du LAAS ( $\text{SiO}_2$  et  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). Les simulations montrent que plus la permittivité diélectrique du matériau déposé est grande, meilleure est la tenue en tension obtenue. Avec ces paramètres, le résultat des simulations réalisées en utilisant du  $\text{SiO}_2$  comme diélectrique n'atteint pas les 80% d'efficacité définis comme objectif. Pour augmenter la tenue en tension, il est nécessaire d'utiliser un diélectrique différent.

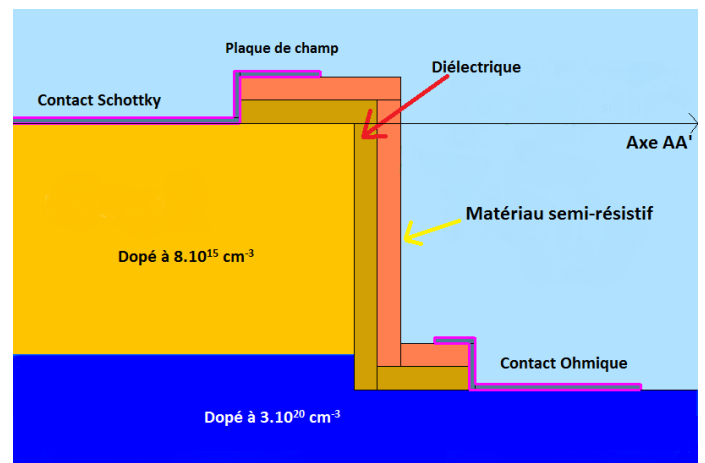


FIG. 2. Demie-structure quasi-v verticale de diode Schottky unipolaire simulée dans le vide (ici en bleu clair)

La figure 3 présente les résultats de tenue en tension obtenus en faisant varier l'épaisseur du diélectrique, ici du  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

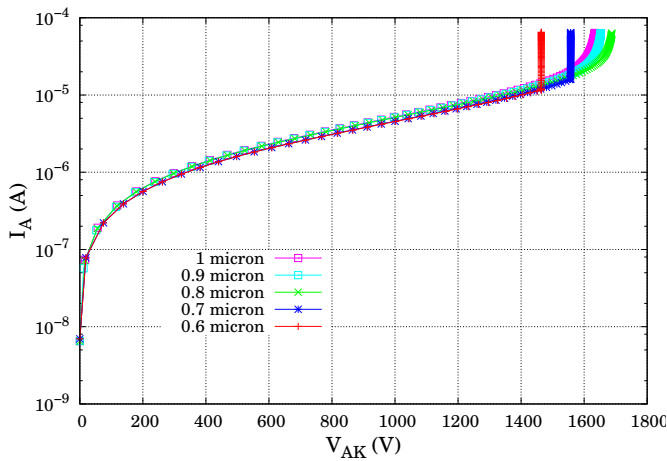


FIG. 3. Evolution de la tenue en tension en fonction de l'épaisseur du  $\text{Si}_3\text{N}_4$  pour une longueur de plaque de  $6\mu\text{m}$

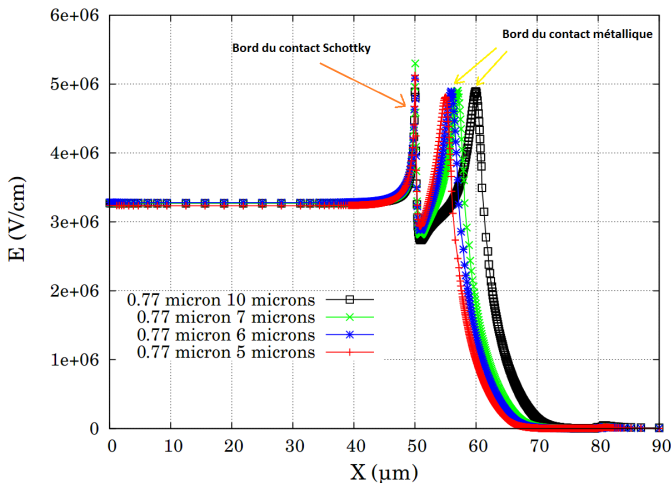


FIG. 4. Répartition du champ électrique dans le semi-conducteur pour une épaisseur de 770nm et différentes longueurs de la plaque de champ au claquage

La figure 4 montre la répartition du champ électrique dans le diamant selon l'axe de coupe (AA'). On remarque deux pics de champ :

- l'un est situé en bord du contact Schottky
- l'autre est situé à l'extrémité de la plaque de champ.

La configuration est optimale lorsque les deux pics ont la même valeur, ce qui est le cas lorsque la longueur de la plaque est de  $10\mu\text{m}$ . Par conséquent, la tenue en tension maximum obtenue est de 1680V (soit 84% d'efficacité) pour une épaisseur de diélectrique de 770nm et une plaque de champ de  $10\mu\text{m}$ .

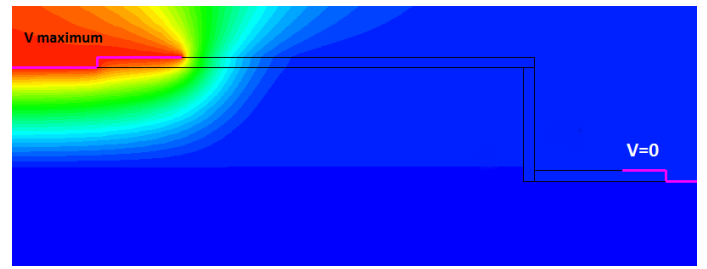


FIG. 5. Etalement des équipotentielles dans la structure pour une longueur de plaque de champ de  $10\mu\text{m}$  et une épaisseur de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  de 770nm, pour la tension correspondant au claquage

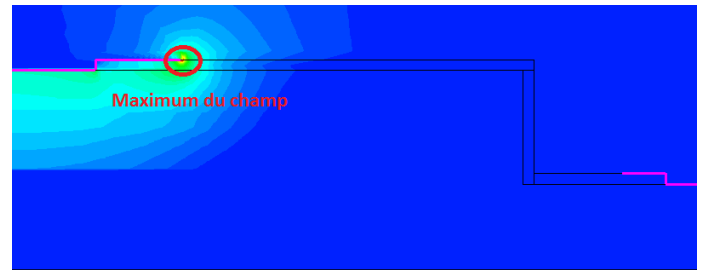


FIG. 6. Répartition du champ électrique dans la structure pour une longueur de plaque de champ de  $10\mu\text{m}$  et une épaisseur de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  de 770nm, pour la tension correspondant au claquage

Les figures 5 et 6 montrent respectivement l'étalement des équipotentielles et du champ électrique dans la structure simulée pour la tension maximale au moment du claquage. On constate que l'étalement des équipotentielles n'est pas idéal et que le maximum du champ électrique est obtenu au bord de la plaque de champ dans le diélectrique. L'utilisation d'un matériau semi-résistif peut aider à pallier le problème.

### C. Protection par plaque de champ sur un matériau semi-résistif reposant sur un diélectrique

La structure simulée est la même que précédemment, avec l'ajout d'une couche d'un matériau semi-résistif sur la couche de  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Les simulations montrent que l'épaisseur du matériau semi-résistif n'influence pas la tenue en tension : seule sa résistivité a un impact sur les niveaux de courants de fuite dans le matériau. La gamme de résistivité typique d'un matériau semi-résistif tel le SiPOS (Silicium polycristallin dopé oxygène) est de  $10^7 - 10^{12} \Omega\cdot\text{cm}$ , en fonction de la quantité d'oxygène dans le SiPOS et de la température de fonctionnement.

Ainsi la tenue en tension est optimisée par la même méthode que précédemment, à savoir en ajustant l'épaisseur de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  et la longueur de la plaque de champ.

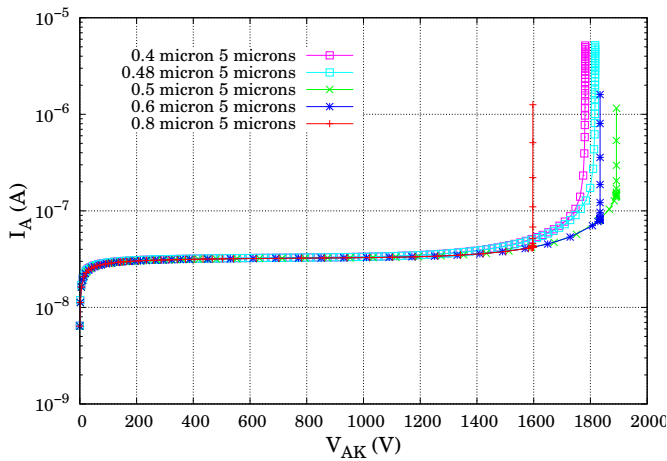


FIG. 7. Tenue en tension avec matériau semi-résistif sur  $\text{Si}_3\text{N}_4$

On observe que la tension maximum obtenue est de 1880V, soit une efficacité de 94%, pour une épaisseur de diélectrique de 500nm et une plaque de champ ayant une longueur comprise entre 5 et  $10\mu\text{m}$ . La longueur de la plaque de champ n'a pas d'impact pour les géométries étudiées, le maximum du champ électrique se produisant au niveau du bord de gravure.

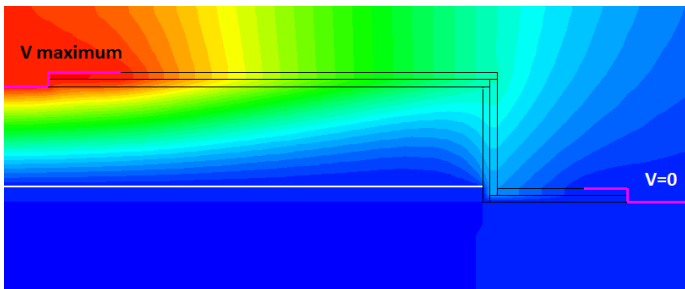


FIG. 8. Étalement des équipotentielles dans la structure protégée par l'ajout du matériau semi-résistif pour une longueur de plaque de champ de  $10\mu\text{m}$  et une épaisseur de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  de 500nm, pour la tension de claquage

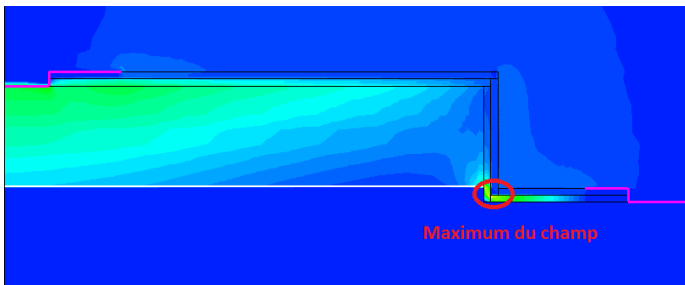


FIG. 9. Répartition du champ électrique dans la structure protégée par l'ajout du matériau semi-résistif pour une longueur de plaque de champ de  $10\mu\text{m}$  et une épaisseur de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  de 500nm, pour la tension de claquage

Les figures 8 et 9 montrent respectivement les équipotentielles et la répartition du champ électrique

dans la structure au moment du claquage. On constate un étalement des équipotentielles le long de toute la structure de protection, ce qui contribue à éviter le claquage au bord de la plaque de champ et privilégie celui-ci dans le diamant. Le champ électrique est maximum au pied de la gravure, là où le resserrement des équipotentielles est maximum.

#### IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La protection périphérique basée sur une combinaison de matériau semi-résistif reposant sur du nitrure semble prometteuse. Les efficacités obtenues sont respectivement de 84% pour une plaque de champ sur  $\text{Si}_3\text{N}_4$  et de 94% à l'aide d'un matériau semi-résistif. Les efforts doivent être déployés pour optimiser de manière plus poussée ces structures. Une attention particulière va être apportée aux couches de matériau semi-résistifs et à la gravure des composants. Les études de caractérisation des différents dépôts sont en cours au laboratoire, ainsi qu'une étude plus poussée sur la gravure RIE-ICP du diamant. Des composants nouveaux seront réalisés en tenant compte de toutes les optimisations possibles et protégés de cette manière.

#### RÉFÉRENCES

- [1] M. Nesladek, "Conventional n-type doping in diamond : state of the art and recent progress," *Semiconductor Science and Technology*, l2005l.
- [2] J. E. Butler, M. W. Geis, K. E. Krohn, J. Lawless, S. Deneault, T. M. Lyszczarz, D. Flechtner, and R. Wright, "Exceptionally high voltage schottky diamond diodes and low boron doping," *Semiconductor Science and Technology*, vol. 18, no. 3, pp. S67–S71, l2003l.
- [3] C. Raynaud, D. Tournier, H. Morel, and D. Planson, "Comparison of high voltage and high temperature performances of wide bandgap semiconductors for vertical power devices," *Diamond and Related Materials*, vol. 19, pp. 1–6, 2010.
- [4] K. Shenai, R. Scott, and B. Baliga, "Optimum semiconductors for high-power electronics.," *IEEE*, p. 1811, 1989.
- [5] Sentaurs user guide A-2008.09.
- [6] S. Rashid, A. Tajani, D. Twitchen, L. Coulbeck, F. Udrea, T. Butler, N. Rupesinghe, M. Brezeanu, J. Isberg, A. Garraway, M. Dixon, R. S. Balmer, D. Chamund, P. Taylor, and G. A. J. Amaratunga, "Numerical parameterization of chemical-vapor-deposited (cvd) single-crystal diamond for device simulation and analysis," l2008l.
- [7] T. Teraji, H. Wada, M. Yamamoto, K. Arima, and T. Ito, "Highly efficient doping of boron into high-quality homoepitaxial diamond films," *Diamond and Related Materials*, vol. 15, no. 4-8, pp. 602–606, l2006l.
- [8] M. Brezeanu, M. Avram, S. Rashid, G. A. J. Amaratunga, J. E. Butler, N. Rupesinghe, F. Udrea, A. Tajani, M. Dixon, D. Twitchen, A. Garraway, D. Chamund, M. J. Taylor, and G. Brezeanu, "Termination structures for diamond schottky barrier diodes," *Proceedings of the 18th International Symposium on power semiconductor devices and IC's*, l2006l.