

Imagerie 2D du champ électrique dans les diodes SiC-4H haute tension par la technique OBIC

H. Hamad¹, P. Bevilacqua¹, D. Planson¹, C. Raynaud¹, D. Tournier¹, B. Vergne², M. Lazar¹, P. Brosselard¹

¹ Laboratoire Ampère – INSA de Lyon, Bât. De Vinci, 21 Avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne CEDEX, France

² Institut Franco-Allemand de Saint-Louis, 5 Rue du Général Cassagnou, 68300 SAINT-LOUIS, FRANCE

RESUME – L’usage des semi-conducteurs à large bande interdite, tels que le carbure de silicium (SiC-4H), est en train de se répandre, notamment pour la réalisation de composants haute tension (qqv kV). Cependant, certains composants montrent des claquages pour des tensions inférieures aux tensions théoriques prévues. Ces claquages prématurés sont en général liés à l’imperfection des protections périphériques des jonctions, dont le rôle est de réduire les pics de champ en bordure du composant. Il est donc important de disposer de moyens « d’observation » du champ électrique en périphérie du composant afin de détecter les éventuelles faiblesses des protections pour les améliorer ensuite. Ce papier présente une imagerie 2D du champ électrique par la technique OBIC (Optical Beam Induced Current). Des cartographies 2D ont été réalisées sur des diodes protégées par une JTE (Junction Termination Extension) montrant une image du champ électrique aux périphéries et aux courbures des diodes. Avec le même objectif, d’autres mesures ont été faites sur des diodes ZENER avec protection MESA munies d’une fenêtre optique.

Mots-clés – SiC-4H, Caractérisation des composants, Champ électrique, OBIC, Absorption photonique.

1. Introduction

Les matériaux semi-conducteurs à large bande interdite ou matériaux grand gap (Wide BandGap : WBG) sont étudiés pour la conception de composants de puissance. Les composants de puissance réalisés avec les WBG peuvent fonctionner pour des tensions plus élevés que le silicium. Ils sont plus performants à haute température et à haute fréquence [1].

Toutefois, des études supplémentaires sont encore indispensables pour augmenter le calibre en tension des architectures de composants. Les composants à base de WBG sont soumis à différentes caractérisations dont celles qui ont recours à un faisceau optique telle que l’OBIC [2]. Cette dernière est utilisée pour la détermination de la durée de vie des porteurs minoritaires [3], et également pour la détermination des coefficients d’ionisation du matériau [4]. Ces deux propriétés sont indispensables pour la détermination du champ électrique critique ainsi que les temps de commutation des composants. Dans cet article, on montre une autre propriété de l’OBIC : celle de visualiser une image du champ électrique dans la diode, surtout dans les zones à fort champ électrique. Une détection des défauts sera signalée par un fort champ électrique et par suite un probable claquage localisé à proximité des défauts en périphérie dans la zone de charge d’espace (ZCE). Cette technique permet d’étudier l’efficacité de la protection périphérique des jonctions P/N. Deux architectures de protection seront étudiées : la protection par JTE (Junction Termination Extension) et la protection par gravure MESA.

2. Principe de l’OBIC

En éclairant un semi-conducteur avec un laser de longueur d’onde appropriée, on peut générer des paires électron-trou. C’est la génération photonique. En présence d’un champ électrique, qui va dissocier ces paires électron-trou, on peut mesurer le courant électrique à l’extérieur du composant polarisé en inverse. En l’absence de fort champ électrique, ces paires de porteurs vont diffuser et se recombiner sans pouvoir visualiser ce phénomène.

On se réfère maintenant au schéma de la diode P+/N/N+ de la Figure 1. Une fois polarisée en inverse, la ZCE s’étend principalement dans la zone la moins dopée qui est N. Lorsqu’un faisceau laser arrive perpendiculairement à la jonction, des paires électron-trou seront générées. Les porteurs générés dans la ZCE sont soumis à un champ électrique et par la suite, ils acquièrent de l’énergie cinétique, ils sont accélérés et atteignent l’extrémité de la ZCE. On peut alors mesurer un courant dit « OBIC » (Optical Beam Induced Current). Les porteurs créés à l’extérieur de la ZCE se recombinent et aucun courant ne

sera détecté. L'extension de la ZCE dépend de la tension inverse appliquée, et le courant mesuré dépend de l'amplitude du champ électrique, finalement l'OBIC est une image du champ électrique.

La génération photonique s'appuie sur l'absorption mono-photonique : dans ce cas l'énergie photonique E_ϕ est suffisamment élevée devant la bande interdite du semi-conducteur E_G , et un seul photon est capable de créer une paire de porteurs. Si $E_\phi \ll E_G$, l'absorption mono-photonique devient impossible et l'absorption bi-photonique peut avoir lieu si le flux de photons est suffisamment élevé. Dans notre cas le semi-conducteur utilisé est le SiC-4H dont E_G est 3.26 eV, et le laser utilisé est un laser vert 532 nm (2.33 eV) pulsé avec une fréquence de répétition de 20kHz et une durée d'impulsion de l'ordre de 1 ns. Alors l'OBIC est basé essentiellement sur l'absorption bi-photonique. La Figure 2 montre le schéma du banc expérimental utilisé.

3. Résultats obtenus

Les essais que nous avons effectués sont essentiellement des balayages 2D sur le quart de deux diodes. Des diodes PN carrées avec une protection JTE aux périphéries de la jonction (Figure 3a) sont testées ainsi que des diodes ZENER protégées par gravure MESA et munies de fenêtre optique (Figure 3b). La fenêtre optique permet de comparer le champ électrique au centre de la diode et autour de la diode pour étudier l'efficacité de la protection réalisée.

Les résultats obtenus pour les diodes PN montrent l'efficacité de la couche JTE implantée. Le courant OBIC est presque constant dans la JTE pour des tensions proches de la tension d'avalanche (Figure 4a) même aux courbures de la diode. Pour des diodes présentant un courant de fuite élevé même à faible tension inverse, un pic de champ au centre de la JTE est repéré. Cela peut être un défaut dans le cristal ou dans la conception de la JTE. Des mesures similaires sont réalisées sur les diodes Zener ; dans la Figure 4b, on peut voir que l'OBIC est important lorsqu'on éclaire la fenêtre optique, il est moins fort sur le front de la gravure MESA et il est nul ailleurs.

4. Conclusion

Le travail réalisé montre une nouvelle méthode pour l'étude de la distribution du champ électrique à la surface des composants de l'électronique de puissance. Elle sert à détecter les défauts même à faible tension inverse. Elle permet également de montrer l'efficacité des protections réalisées. Des mesures et des résultats additionnels (simulations électriques) pour des tensions plus élevées seront ajoutés dans l'article final.

5. Références

- [1] Casady J. B. and Johnson R. W., Solid State Electron, vol.39, p. 1409, 1996.
- [2] C. Raynaud, S. R. Wang, D. Planson, M. Lazar and J. P. Chante, Diamond & Related Materials, vol. 13, p. 1697, 2004.
- [3] T. Flohr and R. Helbig, Journal of Applied physics, vol. 66, no. 7, p. 3060, 1989.
- [4] D. M. Nguyen, C. Raynaud, N. Dheilly, M. Lazar, D. Tournier, P. Brosselard and D. Planson, Diamond and Related Materials, vol. 20, iss. 3, p. 395, 2011.

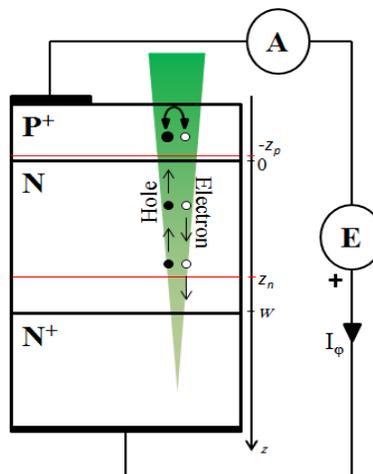


Figure 1 : Schéma de principe de l'effet OBIC.

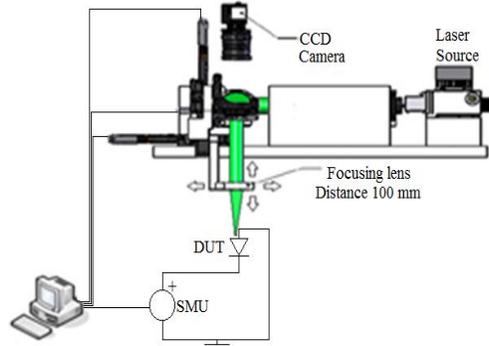


Figure 2 : Schéma de principe du banc expérimental OBIC.

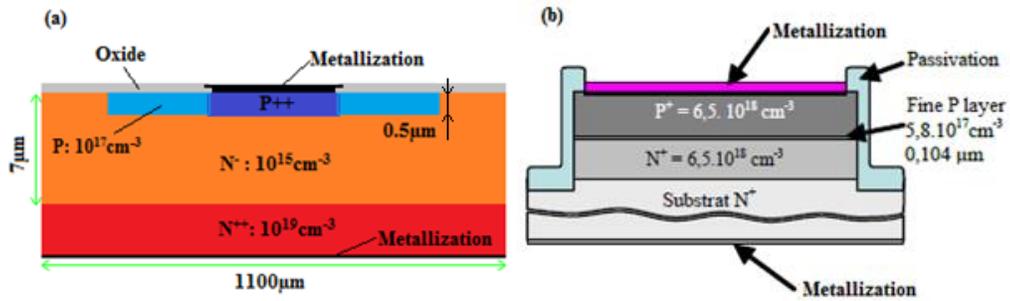


Figure 3 : Vue en coupe des deux diodes sous test, (a) diode bipolaire PN protégée par JTE et (b) diode ZENER protégée par MESA.

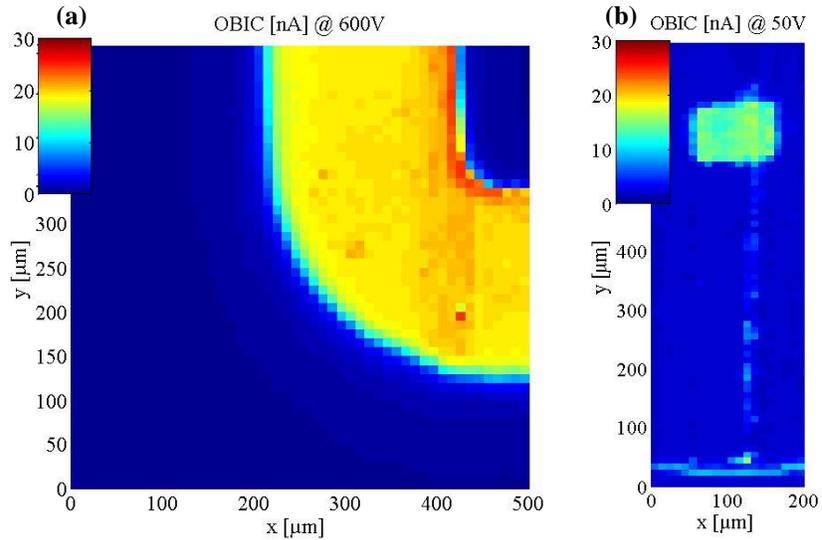


Figure 4 : Cartographie 2D OBIC, (a) diode PN à 600V et (b) diode ZENER à 50V