Étude de faisabilité d'une terminaison de jonction basée sur des tranchées profondes pour des composants haute tension (1200 V)

Hicham Mahfoz-Kotb, Loïc Théolier, Frédéric Morancho, Karine Isoird, Pascal Dubreuil, Thierry Do Conto

▶ **To cite this version:**

Hicham Mahfoz-Kotb, Loïc Théolier, Frédéric Morancho, Karine Isoird, Pascal Dubreuil, et al.. Étude de faisabilité d'une terminaison de jonction basée sur des tranchées profondes pour des composants haute tension (1200 V). XIIème colloque Electronique de Puissance du Futur (EPF 2008), Jul 2008, TOURS, France. 4 p. hal-01002269

HAL Id: hal-01002269
https://hal.science/hal-01002269

Submitted on 5 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.

Étude de faisabilité d'une terminaison de jonction basée sur des tranchées profondes pour des composants haute tension (1200 V)

H. Mahfoz-Kotb[1], L. Théolier[1,2], F. Morancho[1,2], K. Isoird[1,2], P. Dubreuil[1], T. Do Conto[1]
[1]LAAS-CNRS ; Université de Toulouse ; 7, avenue du Colonel Roche, F-31077 Toulouse, France
[2]Université de Toulouse ; UPS
e-mail : hkotb@laas.fr, ltheolie@laas.fr, morancho@laas.fr, kisoird@laas.fr

Nous présentons ici l'étude de la faisabilité d'une nouvelle terminaison de jonction utilisant une tranchée profonde de 70 µm de large et de 100 µm de profondeur remplie par un matériau diélectrique. Les simulations, avec Sentaurus TCAD, ont montré une tenue en tension supérieure à 1200 V pour cette terminaison. Le remplissage de la tranchée de terminaison par un diélectrique étant indispensable, nous avons donc étudié la possibilité d'utiliser un polyimide à faible constante diélectrique. Outre ses bonnes caractéristiques électriques, le BenzoCycloButene (BCB) a permis un bon remplissage des tranchées profondes. Enfin, nous avons étudié le polissage du BCB par la technique de polissage mécano-chimique (CMP) dans le but d'aplanir et éventuellement de supprimer l'excès de BCB sur la surface de la plaque. En utilisant une suspension de polissage d'un pH 2,5 (acide), nous avons obtenu une vitesse de gravure par polissage d'environ 0,24 µm/min pour le BCB. L'état de surface du BCB après CMP présente une rugosité, Ra, de 1,04 nm mesurée par AFM.

I. INTRODUCTION

Le DT-SJMOSFET (Deep Trench Super Junction MOSFET) a été introduit et théoriquement approuvé (simulations Sentaurus) comme une alternative possible à l'IGBT dans les convertisseurs pour la traction ferroviaire [1]. La concentration de la couche épitaxiée N^- étant plus importante que celles des structures haute tension conventionnelles, un des problèmes majeurs à résoudre est la conception d'une terminaison de jonction originale : une terminaison basée sur une tranchée profonde — 70 µm de large et 100 µm de profondeur — a donc été proposée [2]. Or, la production de prototypes de DT-SJMOSFET dépend, entre autres, de la possibilité de remplir avec succès cette tranchée. À cause de sa grande largeur, le remplissage de la tranchée a en effet nécessité une méthode innovante, puisque les méthodes classiques (LPCVD, PECVD, …) permettent uniquement des dépôts de couches minces (quelques microns). C'est dans ce contexte que nous avons réalisé le travail présenté dans cet article. Nous avons testé la faisabilité de dépôt de BCB pour remplir des tranchées profondes. De plus, afin de pouvoir éliminer le surplus de BCB en surface, nous avons étudié le polissage par CMP, ce qui est nécessaire pour mettre en œuvre le procédé de fabrication de la structure DT-SJMOSFET.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE DT-SJMOSFET

Le schéma de la structure DT-SJMOSFET 1200 V est donné sur la figure 1 : c'est une structure MOS utilisant le concept de la Super Jonction (alternance de régions N et P dans le volume respectant une parfaite balance des charges) [3]. La cellule de base du DT-SJMOSFET est donnée sur la partie gauche de la figure tandis que la terminaison proposée par les auteurs [2] est représentée sur la partie droite. Les régions P sont réalisées par diffusion latérale de bore à travers les murs des tranchées. Comme source de bore, nous utilisons une couche de polysilicium dégénéré déposée par LPCVD. Pour mieux gérer la quantité de bore diffusée, nous faisons croître un oxyde fin entre le polysilicium et les murs des tranchées. Après diffusion de la dose de bore voulue, le polysilicium et l'oxyde de contrôle sont gravés et les tranchées sont remplies par un diélectrique.

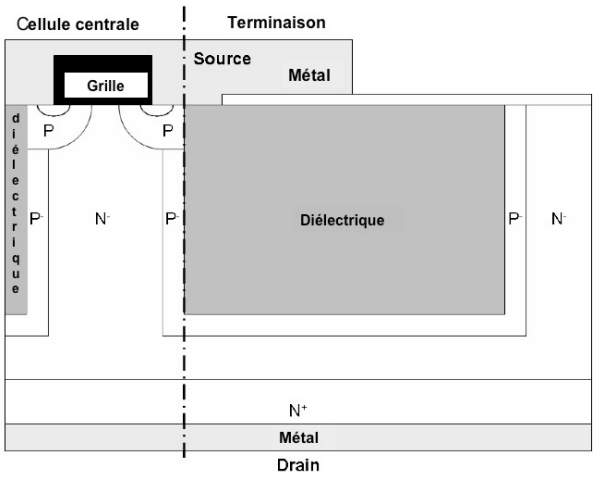

Figure 1 : Coupe schématique de la structure DT-SJMOSFET.

III. ROLE DU DIELECTRIQUE DANS LES TRANCHEES

La tenue en tension de la terminaison (BV) étant dépendante des propriétés électriques (permittivité relative ε_{rd} et champ électrique critique E_{cd}) du matériau de remplissage des tranchées, nous avons simulé la dépendance de BV vis-à-vis de ces paramètres (E_{cd} et ε_{rd}).

La figure 2 montre la variation de la tension de claquage de la structure complète en fonction du champ de rupture du diélectrique de remplissage pour une permittivité relative fixe (ε_{rd} = 2,65). Nous observons que, lorsque le champ critique du diélectrique est inférieur à 2,5 MV/cm, la terminaison ne supporte pas 1200 V. Si on prend un diélectrique de remplissage dont $E_{cd} \geq 2{,}5$ MV/cm, alors le claquage apparaît dans la cellule centrale.

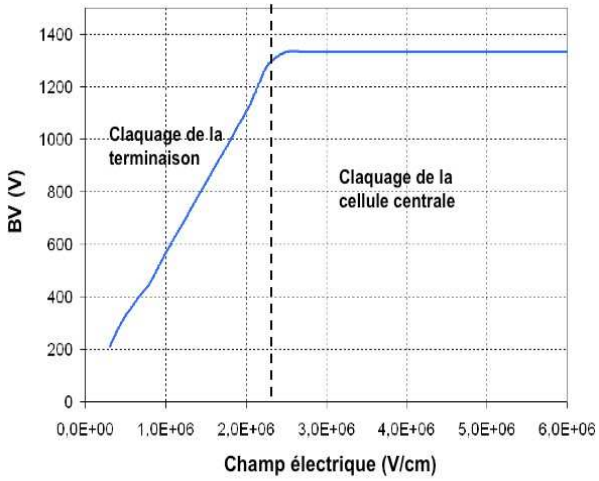

Figure 2: Variations de la tension de claquage (BV) théorique (simulations Sentaurus) en fonction de E_{cd}, en prenant ε_{rd} = 2,65.

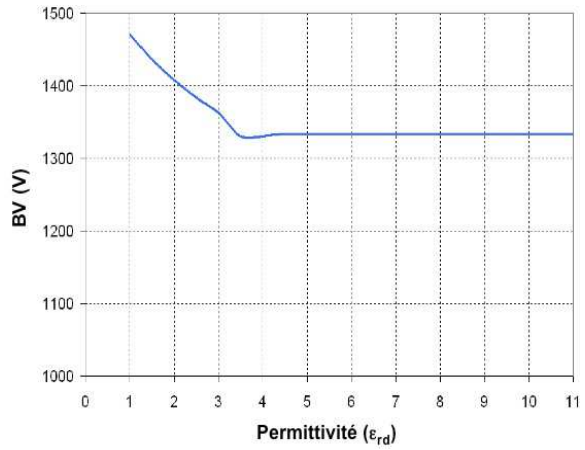

Figure 3 : Variations de la tension de claquage (BV) théorique (simulations Sentaurus) en fonction de ε_{rd}, en considérant E_{cd} = 5.10^6 V/cm.

De la même manière, BV en fonction de ε_{rd} a été calculée pour une valeur fixe de E_{cd} de 5 MV/cm (valeur propre au BCB [4]) : le résultat est donné sur la figure 3. On constate un effet moins important pour ε_{rd} sur la tension de claquage de la terminaison : BV reste supérieur à 1200 V pour une large gamme de ε_{rd}. À l'issue de cette étude de simulation, nous avons pu vérifier théoriquement la bonne tenue en tension, jusqu'à 1200 V, de la terminaison proposée qui consiste en une tranchée de 100 µm de profondeur et 70 µm de largeur, remplie par BCB (ε_{rd} = 2,65 et E_{cd} = 5,3 MV/cm). D'un point de vue technologique, il reste à étudier et optimiser le procédé de remplissage des tranchées avec du BCB.

IV. REMPLISSAGE DES TRANCHEES PROFONDES PAR BCB

Pour les tests de remplissage, les plaques de silicium ont été préalablement gravées à l'aide d'une machine de gravure profonde STS Multiplex ICP qui utilise la méthode de Bosch [5]. Cette méthode est basée sur l'alternance de deux phases. La première est une phase de passivation des flancs de la structure silicium par le dépôt d'une couche très mince de téflon lors du premier plasma. Elle intervient lors du premier plasma, issu du gaz C_4F_8.

La seconde phase est une phase de gravure par plasma SF6, pour éliminer la couche de passivation des surfaces horizontales et continuer à graver en profondeur. Ainsi, une alternance des plasmas de passivation et de gravure permet la gravure profonde et verticale dans le silicium des structures choisies avec un bon facteur de forme (la profondeur divisée par la largeur de la structure). Le temps de la gravure est choisi pour que la profondeur finale de la tranchée soit de 100 µm. Pendant la gravure profonde, une couche de résine photosensible AZ1529 est utilisée comme masque. À la fin de cette étape, la résine est enlevée par plasma O_2. Ensuite, le BCB (Cyclotene 4026-46) est déposé à la tournette. Après avoir laissé le BCB sur la plaquette pendant 10 min, il est étalé à faible vitesse de rotation (500 tr/min) en finissant par une vitesse de 2000 tr/min. Ensuite, la plaquette est recuite à 250 °C pendant 1 heure dans un four tubulaire sous flux d'azote. Plus de détails sur le traitement thermique de BCB peuvent être trouvés dans la fiche technique du produit [4]. Après recuit, la plaquette est clivée et les tranchées sont observées au MEB (Hitachi S-4800).

L'observation au MEB de la section de plaquette montre un remplissage incomplet des tranchées (figure 4).

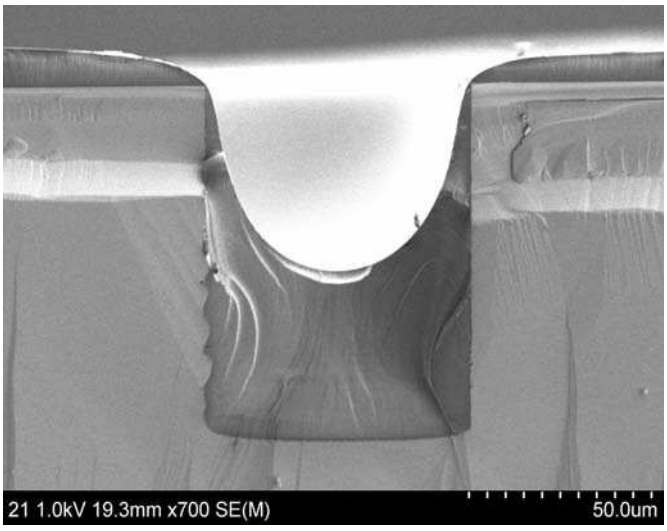

Figure 4 : Photo au MEB d'une tranchée (95 µm de profondeur et 73 µm de largeur) après remplissage d'une seule couche de BCB.

Pour arriver à un remplissage complet des tranchées, une deuxième couche de BCB est déposée dans les mêmes conditions que la première et l'ensemble est recuit une nouvelle fois à 250 °C. La figure 5 montre une photo au MEB d'une tranchée après remplissage par deux couches de BCB. Nous constatons le remplissage complet de la tranchée mais également une couche épaisse de BCB recouvrant la surface de la plaquette.

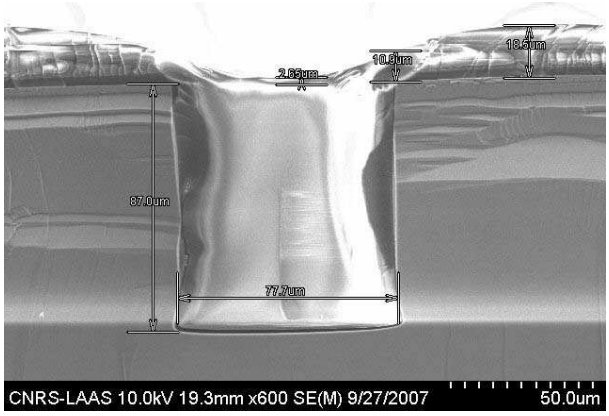

Figure 5 : Photo au MEB d'une tranchée après dépôt de 2 couches de BCB.

Découvrir à nouveau la surface de silicium étant indispensable, nous avons donc étudié la suppression de cette couche de BCB par la technique de CMP avec l'objectif de trouver un bon compromis entre la vitesse de gravure de BCB et la qualité de l'état de surface à la fin de CMP.

V. POLISSAGE MECANICO-CHIMIQUE (CMP) DU BCB

Nous avons réalisé les expériences de polissage sur des plaques en silicium non gravées (sans tranchées). Le BCB est d'abord étalé à la tournette puis, par photolithographie, des ouvertures sont effectuées dans le BCB pour pouvoir mesurer son épaisseur avant et après le polissage. Le temps de polissage étant fixé à 20 min, la différence des épaisseurs de BCB (avant et après le polissage) divisé par ce temps va définir la vitesse de gravure (V_{RR}) du BCB. La mesure d'épaisseur est faite avec un profilomètre mécanique. La machine de polissage utilisée est un Logitech CDP Polisher muni d'un tapis de polissage de type Chemcloth. Les paramètres du procédé de polissage ainsi qu'une description de la suspension (slurry) de polissage utilisée sont donnés dans les tableaux 1 et 2 respectivement.

Tableau 1 : Paramètres utilisés pour le CMP

Débit de slurry (ml/min)	50
Pression (psi)	2
Vitesse de rotation de plateau (tr/min)	60
Vitesse de rotation de tête (tr/min)	50

Tableau 2 : Caractéristiques de slurry utilisé pendant le CMP

Nature de slurry	Caractéristiques
(KLEBOSOL STS-2) de chez AZ electronic materials	30 (wt %) abrasives de silice, taille de grain d'abrasive de 25 nm, pH = 2,5

Après le polissage, l'épaisseur de BCB est mesurée à nouveau et le taux V_{RR} est calculé. Ensuite, la rugosité du BCB est mesurée par Microscopie à Force Atomique (AFM). Les figures 5 et 6 comparent l'état de surface de BCB avant et après le polissage.

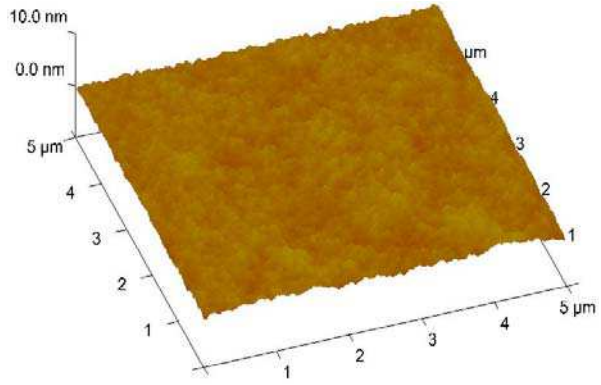

Figure 5 : La rugosité moyenne, par AFM, du BCB avant le polissage est : R_a = 0,34 nm.

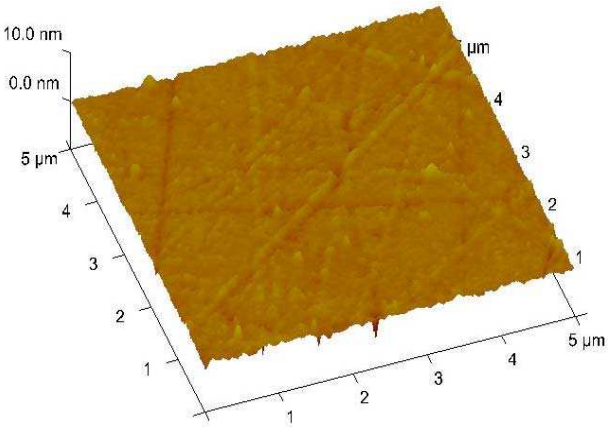

Figure 6 : La rugosité moyenne, par AFM, de BCB après le polissage est : R_a = 1,04 nm.

La vitesse de gravure du BCB d'environ 240 nm/min est obtenue en utilisant le slurry acide (KLEBOSOL STS-2). En même temps, la surface de BCB après polissage est restée peu rugueuse (rugosité moyenne après polissage, R_a, de 1,04 nm). Ces résultats peuvent êtres considérés comme un bon compromis quand ils sont comparés aux valeurs trouvées dans la littérature [6-8]. On pense que la vitesse de gravure peut être encore augmentée en jouant sur les paramètres de polissage comme la vitesse de rotation de plateau et celle de la tête de polissage et la pression sur la plaquette.

En exploitant les conditions données sur le tableau 2 pour le polissage du BCB, nous avons testé le polissage des tranchées profondes remplies au BCB : le résultat est donné sur la figure 7. Après CMP, la surface est rendue plane par rapport à son état juste après le remplissage (figure 4).

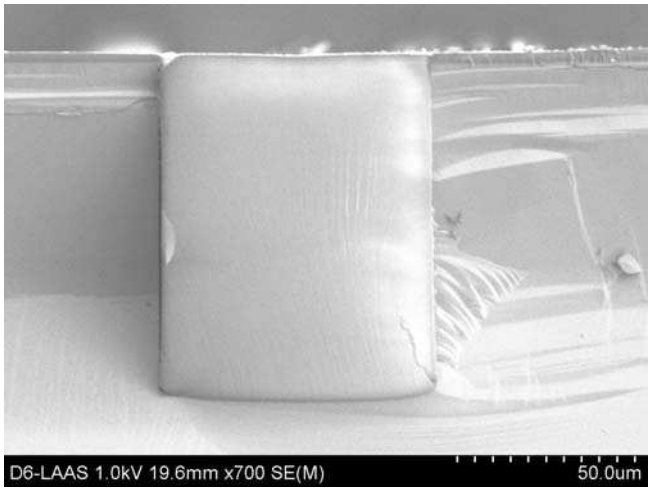

Figure 7 : Photo au MEB d'une tranchée (95 µm de profondeur et 78 µm de largeur) après remplissage au BCB et polissage par CMP.

VI. CONCLUSIONS

Ces travaux ont montré la faisabilité d'une terminaison de jonction qui a été proposée par les auteurs pour les transistors DT-SJMOSFET (1200 V). Cette terminaison nécessite le remplissage des tranchées profondes et larges par un bon diélectrique. Nous avons montré une méthode simple pour remplir des tranchées larges (70 µm) et profondes (100 µm) par du BenzoCycloButene (BCB). La méthode utilise deux inductions, à la tournette, de BCB pour assurer le remplissage complet des tranchées. De plus, le polissage du BCB par CMP a été étudié. La vitesse de gravure du BCB de 0,24 µm/min est obtenue en utilisant un slurry commercial de nature acide. L'ensemble de ces résultats constitue trois étapes clés (gravure, remplissage, polissage) pour la réalisation complète de DT-SJMOSFET. Cependant, il reste quelques étapes technologiques à optimiser avant la réalisation du composant complet.

VII. REFERENCES

[1] L. Théolier, K. Isoird, F. Morancho, J. Roig, H Mahfoz Kotb, M. Brunet, P. Dubreuil, "Deep Trench MOSFET structures study for a 1200 Volts application", EPE'07.

[2] H. Mahfoz Kotb, L. Théolier, F. Morancho, K. Isoird, P. Dubreuil, T. Do Conto, "Feasibility study of a junction termination using deep trench isolation technique for the realization of DT-MOSFETs", ISPSD'08.

[3] T. Fujihira, "Theory of Semiconductor Superjunction devices", Japanese Journal of Applied Physics. Vol. 36, Part.1, N°10, pp. 6254-6262, 1997.

[4] Dow Chemical Company Processing for CYCLOTENE 4000 Series Photo BCB Resins, February 2005.

[5] F. Lärmer, A. Schilp : Patent Nos. DE4241045 (Germany, issued 5 December 1992), US5,501,983 (U.S., issued 26 March 1996).

[6] G. R. Yang, Y. P. Zhao, J. M. Neirynck, S. P. Murarke, R. J. Gutmann, "Chemical-mechanical polishing of Parylene N and Benzocyclobutene films", J Electrochem. Soc., Vol. 144, pp. 3249-3255, 1997.

[7] L. Borst, D. Thakurta, W. Gill, R. Gutmann, "Chemical-mechanical polishing of low Dielectric cobstant polymers in copper slurries", J Electrochem. Soc., Vol. 146, pp. 3409-4315, 1999.

[8] J. Neirynck, G.-R. Yang, P. Murarja, R. Gutmann, "The ddition of surfactant for polymer CMP: effects on polymer surface, removal rate and underlying Cu", Thin Solid Films, Vol 290-291, pp. 447-452, 1996.