



**HAL**  
open science

## **Nouveaux contacts électriques sur SiC-4H de type p : réalisation de phases MAX**

Tony Abi Tannous, Maher Soueidan, Gabriel Ferro, Berangere Toury-Pierre,  
Mihai Lazar, Jean François Barbot, Jose Penuelas, Dominique Planson

► **To cite this version:**

Tony Abi Tannous, Maher Soueidan, Gabriel Ferro, Berangere Toury-Pierre, Mihai Lazar, et al..  
Nouveaux contacts électriques sur SiC-4H de type p : réalisation de phases MAX. Symposium de  
Génie Electrique (SGE'14), Jul 2014, Cachan, France. hal-01065327

**HAL Id: hal-01065327**

**<https://hal.science/hal-01065327>**

Submitted on 18 Sep 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.

# Nouveaux contacts électriques haute température sur SiC-4H de type p : réalisation de phases MAX

T. Abi-Tannous<sup>a</sup>, M. Soueidan<sup>a</sup>, G. Ferro<sup>b</sup>, M. Lazar<sup>a</sup>, B. Toury<sup>b</sup>, J.F. Barbot<sup>c</sup>, J. Penuelas<sup>d</sup> et D. Planson<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Université de Lyon, CNRS, Laboratoire Ampère, INSA-Lyon, UMR 5005, F-69621, France

<sup>b</sup>Université de Lyon, CNRS, Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces, UMR 5615, F-69622, France

<sup>c</sup>Institut Pprime CNRS - Université de Poitiers - ENSMA - UPR 3346 Département Physique et Mécanique des Matériaux SP2MI - Téléport 2 Boulevard Marie et Pierre Curie - BP 30179 86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex, France

<sup>d</sup>Université de Lyon, Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL), UMR CNRS 5270, 69134 ECULLY Cedex France

**RESUME** – Dans le but d'améliorer les contacts électriques sur 4H-SiC de type p, nous explorons la possibilité d'utiliser la phase MAX  $Ti_3SiC_2$ . Dans ce but, un film mince de  $Ti_{20}Al_{80}$  a été déposé sur 4H-SiC (0001) 8° off. En jouant sur les types de dépôt (co-dépôt et multi-couches) et sur les conditions de recuit (température, temps, atmosphère, etc...), nous avons réussi à stabiliser la phase MAX recherchée. Celle-ci est obtenue pure et épitaxiale par rapport au substrat. En faisant varier les conditions de recuit, une phase pure et épitaxiale TiC a également été obtenue. Il est maintenant prévu de tester électriquement ces contacts sur 4H-SiC dopé P+ à partir de motifs de test.

**MOTS-CLES** : 4H-SiC, contact ohmique, Phase MAX,  $Ti_3SiC_2$ , TiC.

## 1. Introduction

A la lecture de la littérature, on relève de nombreuses difficultés dans la réalisation de contacts ohmiques sur le SiC de type P. L'origine de ces problèmes est attribuée à sa large bande interdite et à la difficulté de trouver un métal ayant une affinité électronique pouvant correspondre à celle du SiC [1]. Les publications reportent principalement la réalisation de contacts ohmiques formés à partir d'alliages à base de Ni, Al et Ti [2-6]. Un autre problème réside dans la fiabilité et la stabilité de ces contacts à haute température (>300°C). Pour ces applications à haute température, les contraintes d'ordre chimique (réactionnelle) étant plus importantes, nous avons choisi d'explorer l'utilisation de carbures thermodynamiquement stables vis-à-vis de SiC et notamment la phase MAX  $Ti_3SiC_2$ . Ce matériau présente des propriétés très intéressantes comme de bonnes conductivités électrique et thermique avec un coefficient d'extension thermique (CTE) proche de celui du semi-conducteur SiC. De plus, certains résultats expérimentaux relient la formation de ce composé à l'obtention d'un bon contact ohmique avec une faible résistivité sur SiC dopé de type p [7].

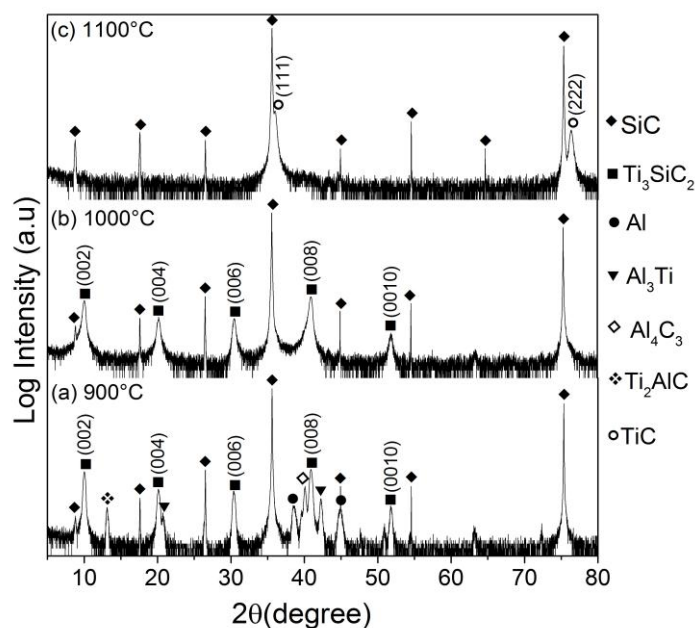
Cependant, la complexité du diagramme ternaire Ti-Si-C, qui présente de nombreux composés stables, binaires ou ternaires [8], rend extrêmement difficile l'obtention exclusive de cette phase MAX. Nous démontrons dans cette étude qu'il est possible d'obtenir  $Ti_3SiC_2$  pure et épitaxiale sur un substrat 4H-SiC(0001) désorienté de 8°.

## 2. Procédure expérimental

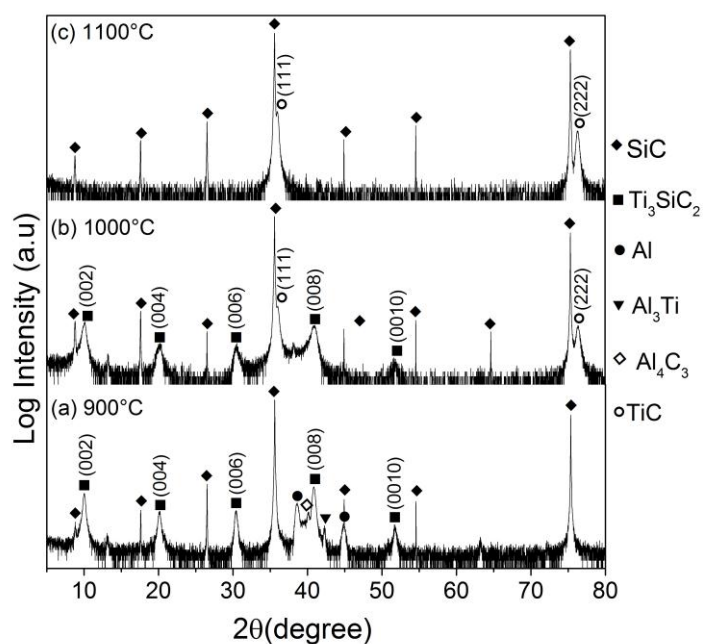
Deux types d'empilement différents ont été étudiés pour la formation de  $Ti_3SiC_2$  sur SiC. D'une part, un film de  $Ti_{20}Al_{80}$  a été co-déposé (200 nm d'épaisseur) sur 4H-SiC (0001) 8° off. Ce dépôt a été réalisé par pulvérisation cathodique simultanée à partir de deux cibles Ti et Al sous vide poussé et sous une pression d'argon constante ( $1,5 \times 10^{-3}$  mbars) à température ambiante. D'autre part, nous avons déposé un empilement plus complexe (Al(20nm)/Ti(5nm)/Al(20nm)/Ti(5nm)/Al(40nm)/Ti(10nm)/Al(40nm)/Ti(10nm)/Al(40nm)/Ti(10nm)) sur 4H-SiC (0001) 8° off par évaporation sous vide dans un canon à électron. Les compositions finales des deux dépôts sont identiques; à savoir 20 at% Ti et 80 at%. Les échantillons ont, ensuite, été recuits dans un four de type RTA (Rapid Thermal Annealing) sous flux d'argon pendant 10 min. Les conditions de recuit sont détaillées dans le tableau 1. Après recuit, les échantillons ont été caractérisés par diffraction des rayons X ( $\theta$ -2 $\theta$ ) pour identifier les phases formées.

**Tableau 1. Les conditions de recuit des différents échantillons.**

Echantillon	Type de dépôt	Température / durée de recuit
A1	Co-dépôt $Ti_{20}Al_{80}$	900°C / 10 min
A2	Co-dépôt $Ti_{20}Al_{80}$	1000°C / 10 min
A3	Co-dépôt $Ti_{20}Al_{80}$	1100°C / 10 min
B1	Empilement (Al/Ti/Al/Ti...)	900°C / 10 min
B2	Empilement (Al/Ti/Al/Ti...)	1000°C / 10 min
B3	Empilement (Al/Ti/Al/Ti...)	1100°C / 10 min



**Figure 1 : Diffractogrammes des rayons X du dépôt  $Ti_{20}Al_{80}$  (Co-dépôt) recuit 10 minutes à (a) 900°C, (b) 1000°C, et (c) 1100°C**



**Figure 2 : Diffractogrammes des rayons X de l'empilement (Al/Ti/Al/Ti...) recuit 10 minutes à (a) 900°C, (b) 1000°C, et (c) 1100°C**

### 3. Résultats et discussion

La figure 1 représente les diffractogrammes des rayons X ( $\theta$ - $2\theta$ ) du co-dépôt  $Ti_{20}Al_{80}$  après recuit à différentes températures. Le recuit à  $1000^{\circ}C$  (figure 1(b)) conduit à la formation de  $Ti_3SiC_2$  hexagonal pur et épitaxial par rapport au substrat. A plus basse température ( $900^{\circ}C$ , figure 1(a)), ce composé est également obtenu toujours épitaxial mais mélangé à d'autres phases (Al,  $Al_3Ti$ ,  $Al_4C_3$ ,  $Ti_2AlC$ ). Enfin, à plus haute température ( $1100^{\circ}C$ , figure 1(c)),  $Ti_3SiC_2$  disparaît totalement pour être remplacé par une phase unique TiC, elle-même épitaxiale. Concernant l'empilement (Al/Ti/Al/Ti...), les tendances observées sont assez similaires, excepté le fait que la phase  $Ti_3SiC_2$  n'a jamais été obtenue pure (figure 2). Ainsi, il apparaît que la nature du dépôt (co-dépôt ou multi-couches) a une influence significative sur l'obtention de la phase exclusive de  $Ti_3SiC_2$ . Les meilleurs résultats sont obtenus sur l'échantillon préparé en co-dépôt.

Par ailleurs, dans le cas de l'échantillon préparé par co-dépôt, l'obtention de TiC à  $1100^{\circ}C$  peut être expliquée par la perte de l'élément silicium de la phase  $Ti_3SiC_2$  initialement présente, en raison de la plus haute température de recuit. De ce fait, explique aussi que le caractère épitaxial du  $Ti_3SiC_2$  initial soit conservé par le TiC. Enfin, il peut être noté que l'obtention de la phase TiC pure et épitaxiale est en soi un résultat très intéressant car ce composé pourrait être un bon candidat alternatif pour le contact ohmique sur SiC de type p [9,10].

### 4. Conclusion

Nous avons démontré qu'il était possible de former du  $Ti_3SiC_2$  pur et épitaxial sur 4H-SiC (0001)  $8^{\circ}$ off à partir d'un dépôt à base de Ti et Al, préparé par co-dépôt et recuit dans un four RTA. En augmentant la température, il est possible de transformer  $Ti_3SiC_2$  en TiC tout en conservant le caractère épitaxial du matériau. L'étape suivante sera de caractériser électriquement les contacts ainsi obtenus à partir de motifs de test spécialement conçus de type TLM (Transfer Length Method). Des résultats préliminaires seront présentés lors de la conférence.

### 5. Références

- [1] Roccaforte Fabrizio, LA VIA Francesco, Raineri Vito, "Ohmic contacts to SiC", International journal of high speed electronics and systems ", 2005, vol. 15, no4, pp. 781-820.
- [2] H. Vang, M. Lazar, P. Brosselard, C. Raynaud, P. Cremillieu, J.-L. Leclercq, J.-M. Bluet, S. Scharnholz, D. Planson, "Ni-Al ohmic contact to p-type 4H-SiC", Superlattices and Microstructures 40 (2006) 626-631.
- [3] R. Nipoti, F. Moscatelli, A. Scorzoni, A. Poggi, G. Cardinali, M. Lazar, C. Raynaud, D. Planson, M.-L. Locatelli, J.-P. Chante, "Contact Resistivity of Al/Ti Ohmic Contacts on p- Type Ion Implanted 4H- and 6H-SiC". 2002 MRS Fall Meeting, Symposium K Silicon Carbide - Materials, Processing and Devices , Boston, Massachusetts, USA, Déc. 2-6, 2002
- [4] M. Soueidan, M.Lazar, D.M.Nguyen, D.Tournier, C.Raynaud, and D.Planson, "Process Optimization for High Temperature SiC Lateral Devices", Materials Science Forum, 615-617(2009) pp585.
- [5] Ryohei Konishi, R. Yasukochi, O. Nakatsuka, Y. Koide, M. Moriyama, M. Murakami, "Development of Ni/Al and Ni/Ti/Al ohmic contact materials for p-type 4H-SiC", Mater. Sci. Eng., B 98, 286-293 (2003).
- [6] J. Johnson Brian, Michael A. Capano, "Mechanism of ohmic behavior of Al-Ti contacts to ptype 4H-SiC after annealing", Journal Of Applied Physics 95,Nb10 (2004).
- [7] M. Gao, S.P. Tumakha, T. Onishi, S. Tsukimoto, M. Murakami, and L.J. Brillson, "Characterization of Ti/Al Ohmic Contacts to p-Type 4H-SiC Using Cathodoluminescence and Auger Electron Spectroscopies", Materials Science Forum, Vols. 527-529, 2006, 891-894.
- [8] J. C. Viala, N. Peillon, F. Bosselet and J. Bouoix, "Phase equilibria at  $1000^{\circ}C$  in the Al-C-Si-Ti quaternary system: An experimental approach", Materials Science Engineering:A, 229 (1997) 95.
- [9] S.-K. Lee, C.-M. Zetterling, M. Ostling, J.-P. Palmquist, U. Jansson, "low resistivity ohmic contacts on 4H-silicon carbide for high power and high temperature device applications", Microelectronic Engineering 60 (2002) 261-268.
- [10] Mingsheng Xu, Xiaobo Hu, Yan Peng, Kun Yang, Wei Xia, Guojian Yu, Xiangang Xu, "Fabrication of ohmic contact on the carbon-terminated surface of n-type silicon carbide", Journal of Alloys and Compounds 550 (2013) 46-49.