HAL
open science

Étude de la texture cristallographique de composés intermétalliques obtenus par réaction à l'état solide entre un film mince de Ni et un substrat InGaAs/Si

Seifeddine Zhiou, Thanh Tra Nguyen, Philippe Rodriguez, Fabrice Nemouchi, Patrice Gergaud

To cite this version:

Seifeddine Zhiou, Thanh Tra Nguyen, Philippe Rodriguez, Fabrice Nemouchi, Patrice Gergaud. Étude de la texture cristallographique de composés intermétalliques obtenus par réaction à l'état solide entre un film mince de Ni et un substrat InGaAs/Si. XIe colloque Rayons X et Matière (RX2015), Dec 2015, Grenoble, France. cea-01615674

HAL Id: cea-01615674

https://cea.hal.science/cea-01615674v1

Submitted on 12 Oct 2017

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 la texture cristallographique de composés intermétalliques obtenus par réaction à l'état solide entre un film mince de Ni et un substrat InGaAs/Si

Seifeddine Zhiou[1], T. Nguyen[2], Philippe Rodriguez[1], Fabrice Nemouchi[1], Patrice Gergaud[1]

[1]Univ. Grenoble Alpes, F-38000 Grenoble, France
CEA, LETI, MINATEC Campus, F-38054 Grenoble, France.
[2]Univ. Grenoble Alpes, Inst NEEL, F-38042 Grenoble;
D2AM-BM02-ESRF; CNRS, Inst NEEL, F-38042 Grenoble, France
Courriel : seifeddine.zhiou@cea.fr

Les matériaux III-V (et plus particulièrement les alliages InGaAs) sont de sérieux candidats pour remplacer le silicium comme matériaux de canal des transistors CMOS de futures générations [1]. Ces semi-conducteurs présentent une mobilité des porteurs de charge très significative, réduisant les effets de canaux courts et limitant les fuites tunnel inter-bandes [2]. L'introduction de ce type de substrat dans l'industrie microélectronique nécessite des études d'intégration mais également le développement de procédés adéquats. L'une des problématiques majeures est l'injection de courant dans le canal au niveau des sources et drains nécessitant la réalisation de contacts de très faible résistivité (de l'ordre du 10^{-9} $\Omega.cm^{-2}$). Historiquement, la réalisation de ces contacts pour les composants à base de silicium se fait généralement par réaction à l'état solide de films métalliques (notamment du Ti, Co, Ni) avec le substrat de silicium. On forme ainsi, par traitements thermiques, des composés intermétalliques dont les propriétés thermo-cinétiques ont un impact direct sur leurs intégrabilités et leurs propriétés électriques : séquences de phases, stabilité morphologique [3] et évolutions microstructurales (texture cristallographique) [4]. Ces travaux ont montré que la compréhension des mécanismes de formation de ces composés et de leurs relations structurales avec le substrat, permet d'optimiser les procédés pour limiter les résistances d'interface. Dans le cas de films métalliques sur substrat III-V, l'évolution des caractéristiques microstructurales des intermétalliques formés a été peu investiguée et encore moins expliquée [5, 6]. L'objet de cette étude est de revisiter, bénéficiant des connaissances acquises sur les siliciures, la métallurgie de ces composés intermétalliques sur substrat III-V aux échelles nanométriques. Les principaux résultats présentés dans cet article sont issus de la réaction à l'état solide entre 20 nm de nickel, déposés par pulvérisation cathodique, et un film de 150 nm d'$(In_{0.53}Ga_{0.47})As$ épitaxié sur un substrat de silicium (001). Une couche tampon de GaAs est introduite entre le substrat de Si et la couche d'InGaAs (Figure 1). Les échantillons étudiés ont subi ensuite différents recuits thermiques rapides par lampe à des températures variant de 250 °C à 550 °C pendant 60 s.

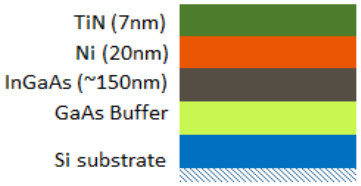

Figure 1. Représentation de l'empilement initial utilisé dans les échantillons

La diffraction des rayons X est particulièrement bien adaptée à l'étude des textures, structures et changement de phase de ces composés [3]. Cependant, comme il a été montré par *S. Gaudet et al* [7] et *E. Bourjot et al* [8], pour comprendre la complexité des mécanismes de formation de ces intermétalliques il est nécessaire de disposer d'une connaissance détaillée de l'espace réciproque du matériau. Ainsi, en collaboration avec la ligne CRG-BM02 de l'ESRF, nous avons mis en place une procédure d'acquisition et de traitement des données expérimentales permettant de disposer de larges cartographies en 3D de l'espace réciproque en quasi temps réel [7, 9, 10]. Ainsi, pour optimiser le temps d'acquisition, l'utilisation d'un détecteur 2D (XPAd 3) présentant une large ouverture angulaire, permet de minimiser le nombre de positions (χ, ϕ et 2θ) de l'échantillon (Figure 2). Un traitement informatique spécifique permet de reconstruire une cartographie de

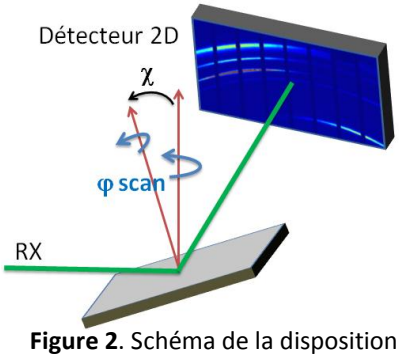

Figure 2. Schéma de la disposition expérimentale utilisée sur la ligne D2AM-BM02 à l'ESRF

l'espace réciproque ou des figures de pôles pour n'importe quelle distance interréticulaire déterminée par la gamme en 2θ mesurée ou tout simplement d'effectuer pour chaque position 2θ une intégration complète en (χ, ϕ). Ce traitement permet aussi d'obtenir un diagramme de diffraction « dé-texturé », à partir duquel l'identification des phases est possible avec un minimum d'ambiguïté.

Dans le cas du système présenté ici, cette approche a permis d'identifier une structure hexagonale avec le groupe d'espace $P6_3/mmc$ pour le seul intermétallique formé dans la gamme de température explorée. L'intermétallique est aussi très fortement texturé (Figure 3.a) avec 2 orientations hors plan (10-10) et (10-11) et 2 variants azimutaux par orientation (Tableau 1 ainsi que la Figure 3.b). La première orientation (● et ○ / Tableau 1) peut être expliquée par des considérations d'épitaxie où l'axe $\vec{c}$ de l'intermétallique hexagonal vient s'aligner sur les directions <110> de l'InGaAs avec un désaccord de paramètre maille l'ordre de 12%. La deuxième orientation (Δ et ▲ / Tableau 1) s'explique par le fait que l'intermétallique pousse selon la direction [111] de l'InGaAs, i.e. avec $(0001)_h//(111)_c$. Cet intermétallique conserve cette texture quel que soit le recuit dans la gamme 250 °C à 550 °C. Cette configuration particulière permet d'obtenir un plan $(10\text{-}11)_h$ parallèle à la surface de l'échantillon (et donc au plan $(001)_{InGaAs}$) dans le cas où le rapport c/a de la structure hexagonale est égale du ratio √3/√2 d'un hexagonal pseudo-cubique parfait [11]. Dans le cas de cette étude, on observe une déviation de quelques degrés des plans {10-11} par rapport à la surface du substrat. Elle est en accord qualitatif avec une évolution du rapport c/a de la maille hexagonale suivant la température de recuit. Cette évolution peut être interprétée par un changement de la stœchiométrie de l'intermétallique qui passe de Ni_xGaAs (où 2<x<3) à basse température à NiAs à plus haute température. De plus, ce résultat est cohérent avec les analyses TEM-EDX qui montrent que le Ga est localisé à l'interface intermétallique-InGaAs pour un échantillon recuit à 450 °C.

Symbol	N°	Orientation
○	1	$(10\bar{1}0)_{NiInGaAs}\|\|(001)_{InGaAs}$; $[0001]_{NiInGaAs}\|\|[01\bar{1}]_{InGaAs}$
●	2	$(10\bar{1}0)_{NiInGaAs}\|\|(001)_{InGaAs}$; $[0001]_{NiInGaAs}\|\|[0\bar{1}\bar{1}]_{InGaAs}$
▲	3	$(10\bar{1}1)_{NiInGaAs}\|\|(001)_{InGaAs}$; $[1\bar{2}10]_{NiInGaAs}\|\|[0\bar{1}\bar{1}]_{InGaAs}$
△	4	$(10\bar{1}1)_{NiInGaAs}\|\|(001)_{InGaAs}$; $[1\bar{2}10]_{NiInGaAs}\|\|[01\bar{1}]_{InGaAs}$

Tableau 1. Orientations cristallographiques de l'intermétallique dans un échantillon recuit à 450 °C

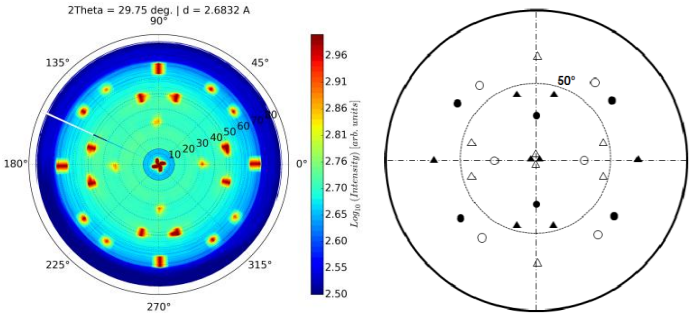

Figure 3. (a) Figure de pôle de l'échantillon Ni/InGaAs/Si (après un recuit RTA à 450 °C). L'angle 2θ est de 29.75° (à une énergie de 9 KeV) et correspond aux plans {10-11} de l'intermétallique.
(b) Projection stéréographique correspondante à la figure de pôle. Les symboles correspondants sont décrits dans le tableau 1.

Remerciements : Cette étude a été financée par le programme de Recherche Technologique de Base ANR/RTB, le projet ANR Mosinas (ANR-11EQPX-0010 et FDSOI11) ainsi que le LabEx Minos ANR-10-LABX-01. Les auteurs remercient Nathalie Boudet et Nils Blanc pour leur support pendant les expériences sur la ligne CRG-BM02-D2AM/ESRF ainsi que Thierry Baron pour les substrats.

[1] *Int. Techn. Roadmap for Semiconductors*, **2013**
[2] J. A. del Alamo, *Nature* 479 **(2011)** 317-323.
[3] H. Iwai et al., *Microelectron. Eng.*, 60 (2002) 157-169.
[4] C. Detavernier et al., *Nature*, vol. 426, no. 6967, pp. 641-645, **2003**
[5] Ivana et al. , Journal of Vacuum Science & Technology B, 31, 012202 (**2013**)
[6] Shekhter P. et al., *Journal of Vacuum Science & Technology B*, 31, 031205 (**2013**)
[7] S. Gaudet, K. De Keyser, S. Lambert-Milot et al., *Journal of Vacuum Science; Technology A*, vol. 31, no. 2, **2013**.
[8] E. Bourjot et al. *Microelec. Engineering*, 120, 163-167 (**2013**)
[9] T. Nguyen Thanh et al, IITC/MAM Conference Proceedings (**2015**)
[10] C. Mocuta, et al, *Journal of Applied Crystallography*, vol. 46, no. 6, pp. 1842-1853, **2013**
[11] A. Lahav et al, *Journal of Applied Physics*, 60 (3), **1986**

Indiquer le nom de la personne à contacter :

Nom : ZHIOU **Prénom : Seifeddine** **Courriel : seifeddine.zhiou@cea.fr**

Indiquer le thème de votre présentation :

☐ • Instrumentation – Développements au laboratoire et au synchrotron
☐ • Instrumentation - présentations des constructeurs
☐ • Chimie du solide / chimie des matériaux
☒ • Microstructure, texture, contraintes
☐ • In situ / Operando
☐ • Systèmes complexes naturels
☐ • Diffusion aux petits angles
☐ • Nanostructures pour la microélectronique
☐ • Matériaux du patrimoine
☐ • Tomographie
☐ • Analyse compositionnelle : spéciation, fluorescence, spectroscopie

Indiquer votre mode de présentation préféré :

☒ Communication orale*
☐ Poster
☐ Aucune préférence