

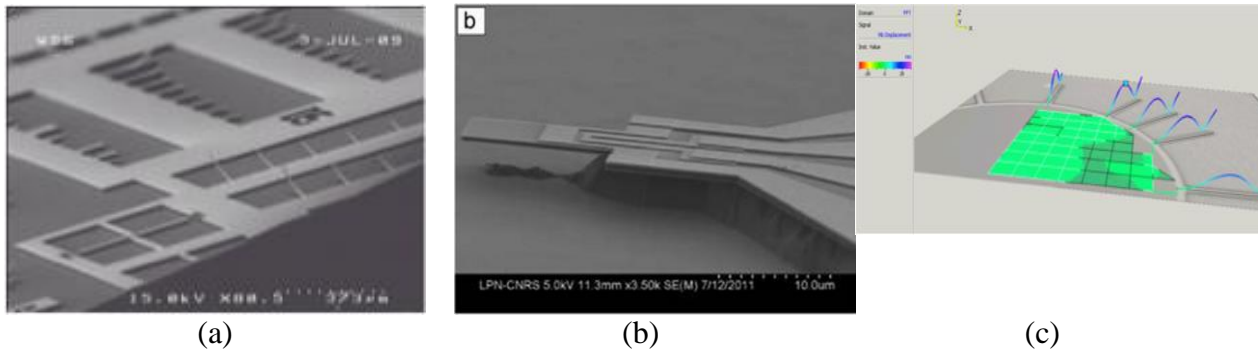
Microsystèmes résonants pour la détection d'hydrogène

1) Contexte

L'hydrogène est un gaz inflammable pour des concentrations se situant entre 4-75% vol dans l'air. La surveillance de la concentration de ce gaz est donc cruciale pour des raisons de sûreté. La possibilité de mesurer la concentration d'une espèce chimique dans un mélange de gaz a déjà été démontrée. Le principe de détection repose sur la variation de la fréquence de résonance d'une micropoutre en fonction de la masse volumique du gaz environnant. Compte tenu de la faible masse volumique de l'hydrogène par rapport à celle de l'air, l'utilisation de micropoutres résonantes pour le suivi de la concentration de l'hydrogène dans l'air est donc tout à fait possible.

Les micropoutres font partie de la famille des MEMS et représentent les dispositifs les plus simples de cette famille, que ce soit pour leur conception ou pour la compréhension de leurs modes de fonctionnement. Ce sont les géométries mécaniques les plus utilisées, notamment dans les applications de détection. Conventionnellement, les matériaux utilisés pour la réalisation de telles structures sont le silicium ou le nitrure de silicium. Néanmoins, l'utilisation de capteurs dans des environnements hostiles (hautes températures, hautes pressions, corrosifs ...) peut conduire à leur dégradation prématurée, voire à l'impossibilité de les utiliser dans ces conditions. Il est donc nécessaire d'avoir recours à d'autres matériaux, beaucoup plus adaptés à de tels environnements. Le carbure de silicium (SiC), qui possède des propriétés physiques nettement supérieures à celles du silicium, fait figure de candidat potentiel pour répondre à cette demande.

Dans le cadre d'un projet de recherche qui va démarrer, le GREMAN, associé à d'autres laboratoires de recherche français, va travailler sur cette problématique. Le sujet de thèse proposé s'inscrit donc dans cette thématique. Le but ultime du projet de recherche, auquel participera activement le doctorant, est de développer des microsystèmes résonants en carbure de silicium compatibles avec la détection d'hydrogène en environnement sévère.



(a) Images MEB de cantilevers SiC (a) et d'un cantilever SiC de 10 μ m de long résonant à 5MHz (b) ;
mesure au vibromètre Doppler laser de vibrations (mode 2) de cantilevers (c)

2) Travaux à mener

Une grande partie du travail de stage consistera à réaliser les dispositifs en environnement salle blanche. Pour cela, le GREMAN s'appuie sur la plateforme CERTeM (400m² de salle blanche classe 100) qui dispose de tous les outils nécessaires (photolithographie, dépôt PVD, gravure plasma ICP ...). Après formation aux différents équipements, le (la) candidat(e) devra pouvoir travailler en parfaite autonomie et maîtriser la réalisation complète des dispositifs.

Le (la) candidat(e) assurera également la caractérisation physique des microsystèmes réalisés (profilométrie optique et Doppler laser ...).

3) Profil du poste à pourvoir

Le (la) candidat(e) doit être titulaire d'un diplôme de master recherche (BAC+5) dans l'une des spécialités suivantes :

- ✓ Génie des procédés
- ✓ Electronique et microélectronique

Une compétence complémentaire dans un des domaines suivant serait grandement appréciée :

- connaissance en technologies microélectroniques et, plus particulièrement, sur les microsystèmes (MEMS),
- connaissance sur les techniques de caractérisation physique,
- expérience de travail en salle blanche.

4) Contact et encadrement

Début : Septembre/octobre 2017

Financement : contrat

Directeur de thèse :

- Daniel ALQUIER, Professeur à l'Université François Rabelais de Tours. Laboratoire GREMAN UMR 7347.

Co-encadrant de thèse :

- Jean-François Michaud, Maître de conférences à l'Université François Rabelais de Tours. Laboratoire GREMAN UMR 7347.

Références bibliographiques en relation avec le sujet de thèse proposé

R. Khazaka, **J.F. Michaud**, P. Vennéguès, **D. Alquier** and M. Portail, *Turning the undesired voids in silicon into a tool: In-situ fabrication of free-standing 3C-SiC membranes*, Applied Physics Letters 110, 081602 (2017).

J.F. Michaud, R. Khazaka, M. Portail, G. Andrä, J. Bergmann and **D. Alquier**, *Laser irradiation influence on Si/3C-SiC/Si heterostructures for subsequent 3C-SiC membrane elaboration*, MRS Advances 1(54), 3649 (2016).

R. Khazaka, **J.F. Michaud**, P. Vennéguès, L. Nguyen, **D. Alquier** and M. Portail, *On the interplay between Si(110) epilayer atomic roughness and subsequent 3C-SiC growth direction*, Journal of Applied Physics 120, 185306 (2016).

R. Khazaka, M. Grundmann, M. Portail, P. Vennéguès, **D. Alquier** and **J.F. Michaud**, *Realization of minimum number of rotational domains in heteroepitaxied Si(110) on 3C-SiC (001)*, Applied Physics Letters 108, 011608 (2016).

J.F. Michaud, M. Portail and **D. Alquier**, *3C-SiC: from electronic to MEMS devices* in Advanced Silicon Carbide Devices and Processing, Edited by Stephen E. Saddow and Francesco La Via, InTech, ISBN 978-953-51-2168-8. Chapitre de livre publié en 2015.

R. Khazaka, E. Bahette, M. Portail, **D. Alquier** and **J.F. Michaud**, *Toward high-quality 3C SiC membrane on a 3C-SiC pseudo-substrate*, Materials Letters 160, 28 (2015).

R. Khazaka, M. Portail, P. Vennéguès, **D. Alquier** and **J.F. Michaud**, *Direct insight into grains formation in the Si layer grown on 3C-SiC by chemical vapor deposition*, Acta Materialia 98, 336 (2015).

R. Khazaka, M. Portail, P. Vennéguès, M. Zielinski, T. Chassagne, **D. Alquier** and **J.F. Michaud**, *Silicon growth on 3C-SiC(001)/Si(001): pressure influence and thermal effect*, Materials Science Forum 821-823, 978 (2015).

J.F. Michaud, M. Portail, T. Chassagne, M. Zielinski and D. Alquier, *3C-SiC: new interest for MEMS devices*, Materials Science Forum 806, 3 (2015).

R. Boubekri, E. Cambriil, L. Couraud, L. Bernardi, A. Madouri, M. Portail, T. Chassagne, C. Moisson, M. Zielinski, S. Jiao, **J.-F. Michaud**, **D. Alquier**, J. Boulloc, L. Nony, F. Bocquet, C. Loppacher, D. Martrou and S. Gauthier, *electrothermally driven high-frequency piezoresistive SiC cantilevers for dynamic atomic force microscopy*, Journal of Applied Physics 116, 054304 (2014).

J.F. Michaud, X. Song, J. Biscarrat, F. Cayrel, E. Collard and **D. Alquier**, *Aluminum implantation in 4H-SiC: physical and electrical properties*, Materials Science Forum 740-742, 581 (2013).

J. Biscarrat, **J.F. Michaud**, E. Collard and **D. Alquier**, *ICP etching of 4H-SiC substrates*, Materials Science Forum 740-742, 825 (2013).

J.F. Michaud, M. Portail, T. Chassagne, M. Zielinski and **D. Alquier**, *original 3C-SiC micro-structure on a 3C-SiC pseudo-substrate*, Microelectronic Engineering 105, 65 (2013).

S. Jiao, **J.F. Michaud**, M. Portail, A. Madouri, T. Chassagne, M. Zielinski and **D. Alquier**, *A new approach for AFM cantilever elaboration with 3C-SiC*, Materials Letters 77, 54 (2012).

M. Zielinski, **J.F. Michaud**, S. Jiao, T. Chassagne, A.E. Bazin, A. Michon, M. Portail and **D. Alquier**, *Experimental observation and analytical model of the stress gradient inversion in 3C-SiC layers on silicon*, Journal of Applied Physics 111, 53507 (2012).

S. Jiao, M. Zielinski, **J.F. Michaud**, T. Chassagne, M. Portail and **D. Alquier**, *Detailed experimental study of mean and gradient stresses in thin 3C-SiC films performed using micromachined cantilevers*, Materials Science Forum 711, 84 (2012).

S. Jiao, M. Portail, **J.F. Michaud**, M. Zielinski, T. Chassagne, **D. Alquier**, *Elaboration of monocrystalline Si thin film on 3C-SiC(100)/Si epilayers by Low Pressure Chemical Vapor Deposition*, Materials Science Forum 711, 61 (2012).

M. Zielinski, **J.F. Michaud**, S. Jiao, T. Chassagne, A.E. Bazin, A. Michon, M. Portail and **D. Alquier**, *Analytical model of stress relaxation in 3C-SiC layers on silicon*, Materials Science Forum 679-680, 79 (2011).

X. Song, **J.F. Michaud**, F. Cayrel, M. Zielinski, M. Portail, T. Chassagne, E. Collard and **D. Alquier**, *Evidence of electrical activity of extended defects in 3C-SiC grown on Si*, Applied Physics Letters 96, 142104 (2010).

J.F. Michaud, S. Jiao, A.E. Bazin, M. Portail, T. Chassagne, M. Zielinski and **D. Alquier**, *Micromachining of thin 3C-SiC films for mechanical properties investigation*, Présentation orale, MRS Spring Meeting, San Francisco (USA), 5-10 Avril 2010, Materials Research Society Symposium Proceedings 1246, 213 (2010).

Conférences invitées

D. Alquier, M. Portail, R. Khazaka, M. Zielinski, T. Chassagne and **J.F. Michaud**, *Novel 3C-SiC microstructure for MEMS applications*, 16th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM), Giardini Naxos (Italie), 4-9 Octobre 2015.

M. Portail, **J.F. Michaud**, **D. Alquier**, A. Michon, T. Chassagne, M. Zielinski and Y. Cordier, *Potentialities of SiC/Si heterostructures for MEMS applications*, HETECH, Glasgow (Scotland), 9-11 Septembre 2013.

J.F. Michaud, M. Portail, T. Chassagne, M. Zielinski and **D. Alquier**, *3C-SiC: new interest for MEMS devices*, HeteroSiC – WASMPE'13, Nice (France), 17-19 Juin 2013.

D. Alquier, **J.F. Michaud**, S. Jiao, M. Portail, M. Zielinski and T. Chassagne, *3C-SiC: a material for MEMS applications*, Materials Research Society Symposium H, San Francisco (USA), 9-13 Avril 2012.