

PROGRAMME

2-5 octobre
2017

PULSE
2017

+ Séance plénière

- . Modélisation de la croissance
- . Intégration et hétéroépitaxie
- . Substrats fonctionnalisés
- . Croissance sélective
- . Caractérisations ultimes
- . Techniques de l'épitaxie
- . Propriétés des nanostructures
- . Systèmes bidimensionnels
- . Nanofils

+ Atelier Simulations

UPMC

4 place Jussieu, PARIS
Amphi Charpak

Inscription gratuite avant le 5 septembre 2017
pulse2017.sciencesconf.org

Conception graphique : Cécile Dufiol, Communication INSP - © U. J. Ganem



GDR CNRS Pulse



UPMC
SORBONNE UNIVERSITÉS



Lundi 2 octobre						
13h30 - 15h30						
Axe 2 : Intégration monolithique hétérogène et hétéroépitaxie sur silicium						
Yvon Cordier ; Charles Cornet ; Guillaume Saint-Girons						
13h30 - 14h		Thierry Baron Moustafa El-kurdi Charbonnier Simon	In, Ga (As, Sb) heteroepitaxy on blanket and patterned Si(100) 300 mm substrates by MOCVD and their physical properties Germanium à bande interdite directe pour l'intégration de sources optiques sur silicium GaP/Si(001) polar-on-nonpolar epitaxial growth revisited by scanning tunneling microscopy Croissance par CVD de SiC sur des films minces d'AlN sur Si(111) : une hétérostructure originale pour des applications MEMS ?			
14h - 14h30						
14h30 - 15h						
15h - 15h30		Marc Portail				
15h30 - 16h: PAUSE CAFÉ						
16h - 18h						
Axe 3 : Organisation sur substrat fonctionnalisé et nanostructuré, croissance sélective et épitaxie latérale						
Yamina André ; Ludovice Desplanque ; Xavier Wallart						
16h - 16h30		Pierre Ferret Charles Renard Alexandre Bucamp Stefano Curiotto Geoffrey Avit	Epitaxie Sélective en MOCVD et cas particuliers du GaN Croissance sélective de µ-cristaux de GaAs sur Si Croissance sélective de nanofils planaires d'InGaAs sur substrat d'InP par épitaxie par jet moléculaire Nano-droplets on a foreign substrate Selective area growth of GaN by Hydride Vapor Phase Epitaxy			
16h30 - 17h						
17h - 17h20						
17h20 - 17h40						
17h40 - 18h						
18h - 18h15: PAUSE						
18h15 - 19h : PRÉSENTATION DES POSTERS						
Mardi 3 octobre						
9h - 11h						
Axe 4 : Caractérisations ultimes : locales, microscopiques et globales						
Patrick Le Fevre ; Gilles Renaud ; Philippe Venegues						
9h - 9h40		Dominik Kriegner Anne Ponchet Williams Lefevre	rayons X synchrotron sur semi-conducteurs Analyse chimique quantitative de couches AlSb nanométriques et subnanométriques dans l'hétérostructure [InAs/AlSb] Correlative investigations by HAADF-STEM and Atom Probe Tomography			
9h40 - 10h						
10h - 10h20						
10h20 - 11h		Christian Mocuta	Mesures de texture via les figures de pôles rapides en utilisant des détecteurs bidimensionnels sur la ligne de lumière DiffAbs (Synchrotron SOLEIL)			
11h - 11h30 : PAUSE CAFÉ						
11h30 - 12h30						
Axe 5 : Nouvelles techniques instrumentales liées à l'épitaxie et nouveaux systèmes						
Alexandre Arnoult, Paola Atkinson, Antoine Ronda						
11h30 - 12h		Yvon Cordier Alexandre Arnoult	Mesure in-situ de la courbure : un outil pour l'hétéroépitaxie Mesures in-situ pour la croissance de structures complexes : retour d'expérience sur le BandIT			
12h - 12h30						
12h30-14h : DÉJEUNER						
14h - 15h						
Axe 5 : Nouvelles techniques instrumentales liées à l'épitaxie et nouveaux systèmes						
Alexandre Arnoult, Paola Atkinson, Antoine Ronda						
14h - 14h20		Thomas Gaudy ; société Hid SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ ET CARACTÉRISATION DES PROCESSUS MBE				
GDR et FÉDÉRATION						
14h20 - 15h		Isabelle Berbezier	Une fédération sur l'épitaxie ?			
15h-16h						
Axe 6 : Propriétés (optiques, électroniques, etc.) des systèmes épitaxiés et applications						
Michele Amato, Hélène Carrere, Noëlle Gogneau						
15h - 15h30		Nikoletta Jegenyes Laurent Lombez	Piezoelectric properties of III-Nitride nanowires Caractérisation de dispositifs optoélectroniques par imagerie de luminescence			
15h30 - 16h						
16h-16h30 : PAUSE CAFÉ						
Axe 6 : Propriétés (optiques, électroniques, etc.) des systèmes épitaxiés et applications						
Michele Amato, Hélène Carrere, Noëlle Gogneau						
16h30 - 17h		Vincent Consonni Martina Morassi	Croissance ZnO et propriétés optiques Growth of In-rich InGaN/GaN nanowires for nano-energy applications			
17h - 17h30						
17h30-19h : SESSION POSTER 1						
DINER du GDR						
Mercredi 4 octobre						
9h-11h15						
Axe 7 : Nouveaux matériaux semiconducteurs (oxydes, organiques) et nouveaux systèmes 2D						
Mathieu Jamet, Holger Vach, Dominique Vignaud						
9h - 9h30		Abdelkarim Ouerghi (C2N) Roberto Sant (Institut Néel) Carlos Alvarez Hamid Oughaddou Fatme Jardali Sanjay Mathur	Hétérostructures à base de matériaux bidimensionnels Synchrotron X-ray exploration of growth and structure in 2D dichalcogenides Study of 2D materials at van der Waals interface Silicene : a new 2D material Formation of silicene and germanene nanosheets on graphite: combined theoretical and experimental verifications Phase and Morphology Engineering of Plasma CVD Grown Hexagonal Boron Nitride (h-BN)			
9h30 - 9h45						
9h45 - 10h						
10h - 10h30						
10h30 - 10h45						
10h45 - 11h15						
11h15-11h45 : PAUSE CAFÉ						
11h45-12h30						
Axe 8 : Nanofil 1						
Sébastien Plissard						
11h45 - 12h15		Maria Tchernycheva & Ludovic Largeau Vincent Sallet	GaN nanowires grown on graphene substrates ZnO nanowire facets transformation induced by Ga doping			
12h15 - 12h30						
12h30-14h : DÉJEUNER						
14h-15h15						
Axe 8 : Nanofil 1						
Sébastien Plissard						
14h - 14h30		Gilles Patriarche Moïra Hocevar Edith Bellet-Amalric	Observation in-situ dans un microscope électronique à transmission de la croissance par Epitaxie par Jets Moléculaires de nanostructures de semiconducteurs III-V AXIAL InGaAs/GaAs NANOWIRE HETEROSTRUCTURES : GROWTH AND STRAIN DISTRIBUTION Croissance et sublimation de nanofils: boîtes quantiques CdTe dans ZnTe			
14h30 - 15h						
15h - 15h15						
15h15 - 15h45 : PAUSE CAFÉ						
15h45 - 16h45						
Axe 1 : Modélisation et couplage entre théorie et expérience						
Pierre Müller, Olivier Pierre-Louis, Laurent Pizzagalli						
15h45 - 16h15		Cédric Mastail Olivier Pierre-Louis	Coupling Approach Towards a Multiscale modelling of the growth hard Coatings (Ti-Al-N) thin film using the Kinetic Monte Carlo approaches DFT Calculations Two stories on kinetic roughening: non-equilibrium cluster diffusion and interface collisions			
16h15 - 16h45						
16h45 - 17h : PAUSE						
17h-19h : SESSION POSTER 2						

Conférences invitées

LUNDI 2 OCTOBRE

Lundi 2 octobre		
13h30 - 15h30		
Axe 2 : Intégration monolithique hétérogène et hétéroépitaxie sur silicium		
Yvon Cordier ; Charles Comet ; Guillaume Saint-Girons	13h30 - 14h	Thierry Baron
	14h - 14h30	Moustafa El-Kurdi
	14h30 - 15h	Charbonnier Simon
	15h - 15h30	Marc Portail
In, Ga (As, Sb) heteroepitaxy on blanket and patterned Si(100) 300 mm substrates by MOCVD and their physical properties		
Germanium à bande interdite directe pour l'intégration de sources optiques sur silicium		
GaP/Si(001) polar-on-nonpolar epitaxial growth revisited by scanning tunneling microscopy		
Croissance par CVD de SiC sur des films minces d'AlN sur Si(111) : une hétérostructure originale pour des applications MEMS ?		
15h30 - 16h: PAUSE CAFÉ		
16h - 18h		
Axe 3 : Organisation sur substrat fonctionnalisé et nanostructuré, croissance sélective et épitaxie latérale		
Yamina André ; Ludovice Desplanque ; Xavier Wallart	16h - 16h30	Pierre Ferret
	16h30 - 17h	Charles Renard
	17h - 17h20	Alexandre Bucamp
	17h20 - 17h40	Stefano Curitto
17h40 - 18h		Geoffrey Avt
Epitaxie sélective en MOCVD et cas particuliers du GaN		
Croissance sélective de μ -cristaux de GaAs sur Si		
Croissance sélective de nanofils planaires d'InGaAs sur substrat d'InP par épitaxie par jet moléculaire		
Nano-droplets on a foreign substrate		
Selective area growth of GaN by Hydride Vapor Phase Epitaxy		
18h - 18h15: PAUSE		
18h15 - 19h : PRÉSENTATION DES POSTERS		

Axe 2 : Intégration monolithique hétérogène et hétéroépitaxie sur silicium

Yvon Cordier ; Charles Cornet ; Guillaume Saint-Girons

Lundi 13h30 – 14h

In, Ga (As, Sb) heteroepitaxy on blanket and patterned Si(100) 300 mm substrates by MOCVD and their physical properties

Thierry Baron

CNRS-LTM, Grenoble, France

Collaborations:

CEA-LETI, Grenoble, France ; CEA-INAC, Grenoble, France ; Applied Materials, Santa Clara, USA ; University College London, UK ; IES Montpellier, France

The integration of III-V materials with high carrier mobility and direct band gap on silicon substrates is an important issue for future microelectronic, optoelectronic and photovoltaics devices. Two different approaches are currently developed. The first one is based on III-V layers transfer, previously grown on a III-V substrate, into a Si substrate. The second one is the direct heteroepitaxy of III-V compounds on Si(100) wafers. However the growth of III-V on silicon generates defects in the layer such as threading dislocations (TD), antiphase boundaries (APB) and stacking faults. These defects deteriorate the physical properties of materials and decrease the device performances. In the same way, forming low resistive contacts is mandatory to obtain high performance devices. We have developed a specific Si(100) surface preparation to promote the formation of double step surfaces and hence reduce and/or promote the annihilation of antiphase boundaries. Using this process, thin (below 100 nm) GaAs, GaSb buffer layer without APB are obtained on standard Si(100) 300 mm wafers. Then we have focused our effort to decrease the threading dislocation densities to be compatible with devices requirements. Finally we will show the realization of an InAs quantum dots laser grown by molecular beam epitaxy on our GaAs buffer layers on Si(100).

Lundi 14h – 14h30

Germanium à bande interdite directe pour l'intégration de sources optiques sur silicium

M. El Kurdi, A. Elbaz, M. Prost, A. Ghrib, S. Sauvage, R. Ossikovski, G. Picardi, F. Aniel, N. Zerounian, I. Sagnes, K. Pantzas, P. Boucaud

C2N (site Orsay) Bat. 220 Université Paris Sud, 91405 Orsay

L'absence d'une source optique efficace compatible avec les technologies CMOS est le principal verrou à lever pour permettre d'unifier les technologies de la micro-électronique avec celles de la photonique dans une seule et même filière de matériaux IV-IV.

Le silicium et le germanium sont en effet pénalisés, pour l'émission de lumière, par la nature indirecte de leur structure de bande. Le cas du germanium est assez particulier, sa bande de conduction en vallée L (bord de zone) se trouve à seulement 140meV au-dessous de la bande de conduction du centre de zone. Plusieurs éléments de modélisation de la structure de bande et expérimentaux montrent que cette barrière peut être abaissée grâce à l'application de contraintes mécaniques en tension au Ge. Le régime de bande interdite directe dans le germanium peut être atteint pour des niveaux de déformation biaxiale au-delà de 1.7%. Au C2N-(ex-IEF) en collaboration avec le C2N-(ex-LPN) nous avons développé une technologie basée sur le transfert de contraintes depuis des films 'stressor' de nitrure de silicium vers des résonateurs optiques, de type μ -disques, en vue de réaliser un dispositif laser. Une approche originale, basée sur la bi-encapsulation des couches de germanium par les films 'stressor', a permis d'atteindre le régime de bande interdite directe dans les μ -cavités de Ge. Cette technologie a permis de montrer un renforcement de plus de deux ordres de grandeurs de l'émission du germanium, cette émission étant couplée aux modes de galeries de μ disques présentant des facteurs de qualité record obtenus avec ce

matériau, de l'ordre de 7000. De nombreuses perspectives sont par ailleurs axées sur l'utilisation de jeux d'alliage GeSn et d'ingénierie contraintes mécaniques pour renforcer le caractère direct de la structure de bande, par augmentation de l'écart d'énergie entre les vallées directe et indirecte. Cette dernière approche vise à favoriser le développement de dispositifs laser assez robuste pour envisager leur intégration sur une plateforme silicium sur des gammes spectrale qui s'étendent au-delà de 2µm de longueur d'onde.

Lundi 14h30 – 15h

GaP/Si(001) polar-on-nonpolar epitaxial growth revisited by scanning tunneling microscopy

S. Charbonnier¹, I. Lucci², S. Gangopadhyay³, Y. Ping Wang², T. Rohel², R. Bernard², L. Pedesseau², A. Létoublon², C. Cornet² and P. Turban¹

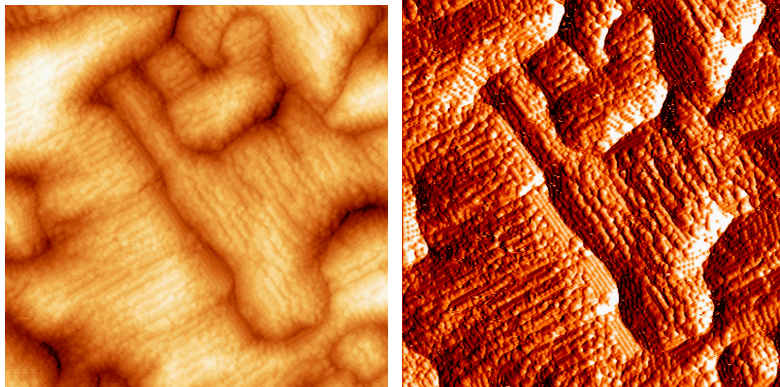
¹ IPR, UMR 6251, CNRS-Université de Rennes I, Campus de Beaulieu 35042 Rennes, France

² UMR FOTON, CNRS, INSA Rennes, Rennes, F35708, France

³ Birla Institute of Technology and Science, Pilani, India

The monolithic integration of III-V based laser sources on a silicon chip requires avoiding/limiting the formation of antiphase disorder at the polar-on-nonpolar III-V/Si interface [1]. We present here a detailed scanning tunneling microscopy (STM) study of epitaxial GaP layers grown by molecular beam epitaxy (MBE) [2] on nominal and vicinal Si(001) substrates for photonic applications. The surface morphology of GaP films with thickness varying between 3 and 220 nm is investigated from large scale down to the atomic level. We show that the use of vicinal Si(001) substrates presenting bi-atomic steps only promotes growth of a dominant polarity at the early deposition stages, allowing the complete annihilation of the antiphase boundaries (APBs) for thicker GaP films. From atomically resolved STM images, we also observe that the terminal GaP facets at the early growth stages are strongly modified by the use of a vicinal Si(001) substrate. Based on these STM observations, the three-dimensional GaP/Si(001) MBE growth mode is discussed in terms of surface/interface energies computed by ab-initio calculations. This study gives new ideas on the effect of a controlled substrate miscut on APBs formation and annihilation mechanisms.

This work is supported by the French National Research Agency project ANTIPODE (Grant no. 14-CE26-0014-01), Région Bretagne and Rennes Métropole.



*(60*60)nm² STM image (left : topography, right : current error) of antiphase domain morphology for a 10nm thick GaP epilayer grown on nominal Si(001) surface. (001), (136), (113) and (114) terminal GaP facets are observed.*

[1] H. Kroemer, J. Cryst. Growth **81**, 193 (1987).

[2] Y. Ping Wang et al., Appl. Phys. Lett. **107**, 191603 (2015).

Lundi 15h – 15h30

Croissance par CVD de SiC sur des films minces d'AlN sur Si(111) : une hétérostructure originale pour des applications MEMS ?

Marc PORTAIL, Luan NGUYEN, Stéphanie RENNESSON, Eric FRAYSSINET, Adrien MICHON, Philippe VENNEGUES, Marcin ZIELINSKI, Fabrice SEMOND et Yvon CORDIER
CNRS – CRHEA, Rue Bernard Grégory, 06560 VALBONNE, France ; NOVASIC Savoie Technolac, BP267, 73375 LE BOURGET DU LAC, France

De nombreux travaux ont adressé la problématique de la croissance SiC sur Si, AlN sur Si et AlN sur SiC, mais très peu ont traité de la croissance de SiC sur AlN. Or, des hétérostructures SiC/AlN empilées sur substrat silicium peuvent constituer une brique intéressante pour la fabrication de structures résonantes utilisables en milieu sévère ou biologique. C'est dans cette optique que nous nous sommes intéressés à ce type d'hétérostructures pour la fabrication de membranes résonantes entièrement SiC, supportées par du Si. L'intercalation d'AlN pourrait assurer l'isolation électrique des deux couches de SiC tout en autorisant une recroissance monocristalline de SiC. La recroissance SiC sur des couches fines d'AlN sur Si pourrait également produire des couches épitaxiées de SiC sur silicium de bien meilleures qualités que celles aujourd'hui accessibles en faisant une croissance directe de SiC sur Si.

Nous présenterons nos travaux préliminaires qui visent à explorer les mécanismes propres de la croissance SiC sur AlN. Ceux-ci étant très peu documentés dans la littérature, nous avons exploré l'influence des différents paramètres de croissance (température, ratio de précurseurs, influence de l'orientation du substrat...) sur la qualité des films. Nous avons étudié comment se comporte la nucléation puis l'épaississement des films SiC et comparé avec les mécanismes de croissance directe sur Si. Le mode de croissance, très différent de celui observé sur Si, et justifié par le très faible écart de paramètre de maille entre les deux matériaux, autorise la formation de films minces de SiC de bonne qualité. Néanmoins, le mécanisme de croissance s'accompagne d'un fort dopage lié à l'AlN ainsi que la formation de macles dans le plan basal et hors plan. Nous avons pu résoudre partiellement ces problèmes en définissant un process en deux étapes. Cette étude a été réalisée avec les moyens de croissance du laboratoire (CVD pour la croissance SiC et MBE ammoniac pour la croissance des tremplins AlN/Si) ainsi que les caractérisations morphologiques et structurales (SEM, DRX, FTIR).

Axe 3 : Organisation sur substrat fonctionnalisé et nanostructuré, croissance sélective et épitaxie latérale

Yamina André ; Ludovice Desplanque ; Xavier Wallart

Lundi 16h – 16h30

Épitaxie Sélective en MOCVD et cas particuliers du GaN

Pierre FERRET, Amélie DUSSAIGNE, Matthieu LAFOSSAS, Frédéric BARBIER, Brigitte MARTIN, Roselyne TEMPLIER, François LEVY
CEA-LETI

L'épitaxie sélective de semi-conducteurs s'est fortement développée au cours des deux dernières décades, principalement sous l'impulsion des thématiques liées aux nanotechnologies. Dans le cas particulier du Nitrure de Gallium (GaN), d'autres problématiques telles que la croissance hétéro-épitaxiale ou la croissance sur des orientations cristallines non polaires ou semi-polaires ont également favorisé le développement de ce type d'épitaxie.

Nous présenterons les principes généraux de l'épitaxie sélective des semiconducteurs dans le cas de la croissance MOCVD (MetalOrganic Chemical Vapor Deposition). Nous présenterons l'impact des différents paramètres de croissance, tels que la température, les effets du masque de croissance...

Lundi 16h30– 17h

Intégration de GaAs sans défaut sur substrat Si actif par épitaxie latérale localisée à travers une silice fine

Charles RENARD
C2N (Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies), CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, 91405 Orsay, France

L'intérêt pour l'intégration de GaAs sur Si se fait de plus en plus fort chaque année et est guidé par des applications dans des domaines très actifs comme le photovoltaïque ou la photonique sur silicium. Cependant trois problèmes majeurs restent à résoudre lors de la croissance directe de GaAs sur Si. i) l'importante densité de dislocations générée par le désaccord de maille entre le GaAs et le Si (environ 4%), ii) la formation de domaines d'antiphases du à la présence d'interfaces polaires/non polaires, iii) la formation de « crack » du à la différence de coefficient thermique entre les deux matériaux. Des améliorations significatives ont été obtenues depuis de nombreuses années, grâce à l'utilisation de l'épitaxie sélective de GaAs sur des substrats de Si texturés. Cependant, ces couches sont inappropriées pour les applications impliquant le transport électronique entre le GaAs et le substrat de Si. Pour surmonter ces problèmes, nous avons développé une technique basée sur la l'épitaxie latérale de cristaux micrométriques de GaAs sur une couche fine de SiO₂ de 0,6 nm d'épaisseur à partir d'ouvertures de Si nanométrique. Comme l'épaisseur de la couche d'oxyde d'interface est suffisamment mince, un courant de tunnel peut se produire et conduire à une conductivité interfaciale entre le GaAs et le Si. Nous verrons que le fait de nanostructurer la surface du substrat de silicium permet de surmonter les différents problèmes de croissance et d'accéder à une gamme inédite d'hétérostructures sur silicium avec une qualité cristalline inégalée. La petite taille de la zone de nucléation permet de limiter la présence de marche dans l'ouverture, ayant pour conséquence de fortement réduire la formation des domaines d'antiphases. L'autre avantage de démarrer la croissance dans ces zones nanométriques est de permettre la relaxation élastique des nano-germes de GaAs sans formation de dislocations. Cette approche permet alors d'obtenir la croissance cohérente et sans défaut d'îlots de GaAs de taille microscopique sur des substrat de Si(001) ou Si(111) [1,2]. Les analyses de microscopie électronique par transmission (MET) indiquent que les μ -cristaux de GaAs sont parfaitement intégrées au substrat de Si. Des mesures supplémentaires par

microscopie Raman confocal et μ -PL confirment la bonne qualité de la couche de GaAs épitaxiée [3]. Enfin, des mesures électriques locales obtenues par CP-AFM (résiscope) et EBIC (Electron beam induced current) ont montré que l'hétérojonction entre le GaAs et le substrat de Si est très conductrice au travers de la couche mince de SiO_2 interfaciale [4]. Nous avons ainsi expérimentalement démontré pour la première fois une diode GaAs/Si monolithiquement intégrée avec des densités de courant de 10 kA.cm^{-2} pour une polarisation directe de 3,7 V. Cette technique d'intégration épitaxiale ouvre la voie aux dispositifs hybride III-V/Si sans restrictions de désaccord de maille, et où le silicium se comporte non seulement comme un substrat, mais aussi comme un support actif.

Références :

- [1] C. Renard et al, Applied Physics Letters, 2013, 102, 191915
- [2] C. Renard et al, Journal of Crystals Growth, 2014, 401, 554
- [3] T. Molière et al, Journal of Applied Physics, 2017, 121, 035704
- [4] C. Renard et al, Scientific Report, 2016, 6, 25328

Lundi 17h – 17h20

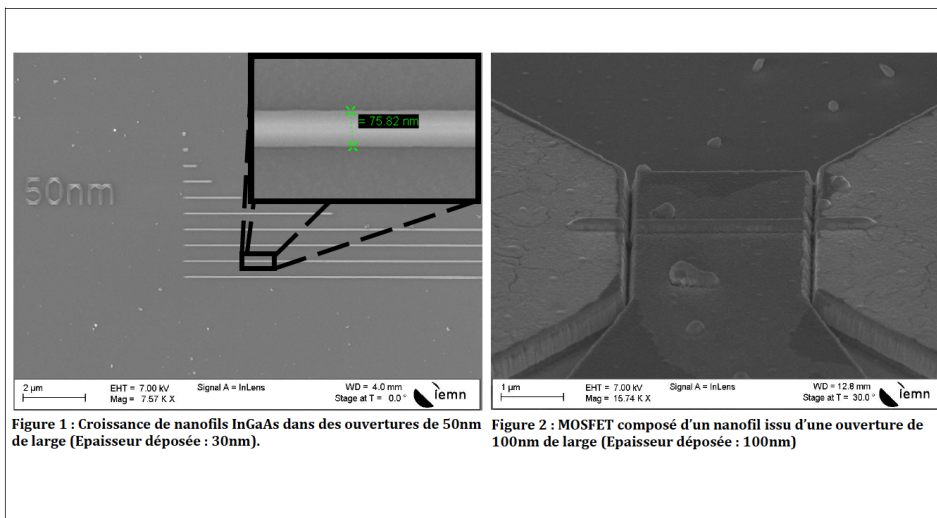
Croissance sélective de nanofils planaire d'InGaAs sur substrat d'InP par épitaxie par jet moléculaire

Alexandre Bucamp, Xavier Wallart, Ludovic Desplanque

Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologies (IEMN - CNRS)

En vue de la réalisation de composants à hétérostructure III-V (MOSFETs, TFETs,...) pour une utilisation en micro-électronique [1], nous étudions la croissance sélective de nanofils planaires d'InGaAs sur un substrat d'InP grâce à l'épitaxie par jet moléculaire (EJM). Ce mode de croissance nous permet de contrôler à la fois l'orientation et la position des nanofils afin de les contacter plus facilement, sans phase de transfert [2-3]. Nous utilisons pour cela un masque de SiO_2 d'une dizaine de nanomètre d'épaisseur dans lequel des ouvertures d'une largeur typique de 50 nm sont réalisées par lithographie électronique et gravure plasma et humide. La croissance est réalisée à 470°C dans un bâti EJM avec sources solides, et la sélectivité de croissance par rapport au masque en silice est obtenue à cette température grâce à l'utilisation d'un flux d'hydrogène atomique pendant la croissance (fig. 1). L'impact de l'orientation cristalline ([110], [1-10] et [100]), de l'épaisseur déposée ou de la largeur des ouvertures du masque sur les propriétés des nanostructures est étudié par des caractérisations en microscopie électronique, effet Hall et par la réalisation de transistors de type MOSFET après un dépôt d' Al_2O_3 sur ces nanostructures (fig. 2).

- [1] J. del Alamo, *Nature* **2011**, 479, 317-323
- [2] L.-F. Shen, *Scientific Reports* **2015**, 5, 16871.
- [3] F. Lindelöw et al, *Nanotechnology* **2017**, 28, 205204.



Nano-droplets on a foreign substrate

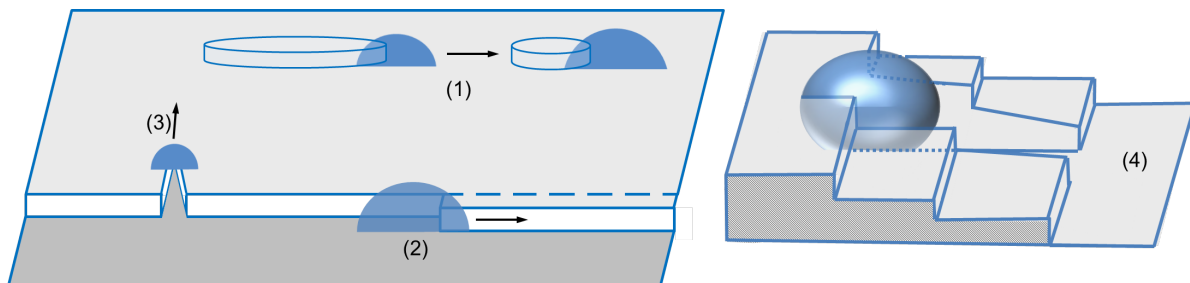
Stefano Curiotto, Frédéric Leroy, Fabien Cheynis, Pierre Müller

Aix Marseille Univ, CNRS, CINaM, Campus de Luminy, case 913, Marseille

Nano-droplets on a foreign substrate have received attention from the scientific community because of their technological possible applications, for instance to catalyze the growth of nanowires. In some cases, the droplets can move under the effect of a driving force as for instance Marangoni effect, electromigration, non-congruent evaporation, wettability gradients and chemical reactivity.

In this last case, the reaction between a particle and its underlying substrate generally leads to a local modification of the interface at the origin of a spontaneous motion.

In this work we show that the substrate orientation, the surface morphology and the shape of the pits etched in the substrate by the droplets affect the droplet motion, so that a single mechanism (droplet-induced substrate dissolution) may lead to several unexpected droplet dynamics. The experiments are carried out by low energy electron microscopy on Au-Si and Au-Ge, which are model systems for studying eutectic liquid droplet alloys and present features similar to those of III-V systems. When a solid Au particle is deposited on Si or Ge and annealed above the eutectic temperature of the binary system, it transforms into a liquid droplet. The substrate is dissolved locally and, due to crystalline anisotropy, the dissolution kinetics depends on the crystallographic orientation of the substrate surface. Studying in-situ the behavior of Au droplets on various Si and Ge surfaces, we describe a subtle interplay between the substrate orientation, the surface defects, and the droplet motion. If interfacial dissolution occurs fast, the particle may simply etch locally the underlying substrate on spot to reach the equilibrium composition. On the contrary, if interfacial dissolution is slow, the droplet might reach the equilibrium composition by dissolution of the substrate local heterogeneities, easier to dissolve. The heterogeneities provide a driving force for the droplet motion. Different scenarios are observed according to the local geometry close to the droplet, as schematically shown in the figure below for (111) substrates. Our observations allow a deep understanding of the interfacial mechanisms at the origin of the alloy formation and the associated droplet motion. These mechanisms are based on events of substrate dissolution/recrystallization. The outcomes of this work highlight the importance of the etching anisotropy on the droplet-substrate behaviors, and are essential in the perspective of positioning liquid alloy droplets used for instance as nanowire catalysts.



Scenarios of Au-Ge droplets moving on Ge(111) because of their interactions with the substrate defects. (1) motion along the edges of a 2D island; (2) motion along a step; (3) motion across a step; (4) droplets climbing across several steps.

Selective area growth of GaN by Hydride Vapor Phase Epitaxy

Geoffrey Avit, Yamina André, Mohammed Zeghouane, Julie Tourret, Ouassila Gourmala, Dominique Castelluci, Evelyne Gil, Agnès Trassoudaine.

Institut Pascal UMR 6602 - UCA/CNRS/SIGMA F-63000 Clermont-Ferrand

GaN and its III-alloys are very interesting for solar-cells, solid-state lighting and high power applications. The performances of current devices may be improved through the use of 3D microstructures based devices[1-3]. Selective area growth (SAG) is an efficient process to obtain these microstructures with uniform dimensions and controlled positions. Still, the synthesis of microstructures faces material challenges related to the morphological, structural, optical and electrical properties which are tied to the synthesis process.

This presentation will focus on Hydride Vapor Phase Epitaxy (HVPE), which is a growth process implemented in a hot wall reactor using chloride precursors. HVPE is ideally suited to selective area growth (SAG) of III-V semiconductors. For usual growth temperature, there is no adsorption of chloride species on the dielectric mask and therefore no competition between masked and opened areas. The growth is governed by surface kinetics, so that the mask pattern and the vapor phase composition can be freely tuned and consequently various shapes can be obtained depending on the intrinsic growth anisotropy of the crystal facets in the considered growth conditions.

The growth of GaN walls and rods was investigated by SAG-HVPE. A systematic study of the gaseous composition on the growth rate of the GaN facets has been performed (figure 1). Capitalizing on the properties of this kinetically-controlled process, the parameters (gas phase, temperature, surface treatment) ruling the growth rate anisotropy between the top and the lateral facets have been highlighted (figure 2). Their effects on the optical and structural properties of the synthesized material have also been assessed. The discussion of the growth mechanism is supported by thermodynamics and kinetic considerations.

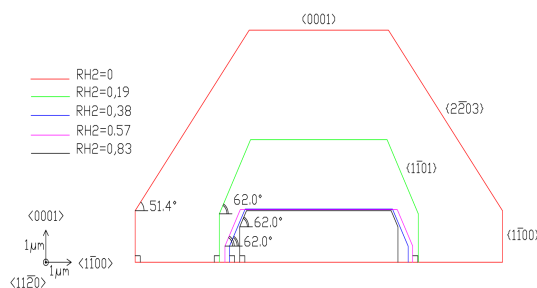


Fig.1 Cristallographic diagram of GaN facets developed on Ga-polar GaN(0001)/saphir substrate with band apertures along the [11-20] direction.

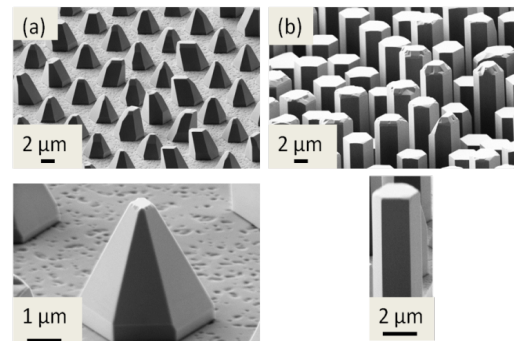


Fig. 2 SEM images of GaN pyramids and rods grown on Ga-polar Si(111)/GaN(0001)/SiN. (a) With and (b) without ammonia pre-growth surface treatment.

- [1] Li, S.; Waag, A. *J. Appl. Phys.* **2012**, *111*, 071101.
- [2] R. R. LaPierre et al. *Phys. Status Solidi RRL* **2013**, *7* (10), 815-830.
- [3] T. Kuykendall *Adv. Materials* **2015**, (27), 5805 -5812

MARDI 3 OCTOBRE

Mardi 3 octobre	9h - 11h	
Axe 4 : Caractérisations ultimes : locales, microscopiques et globales		
Patrick Le Fèvre ; Gilles Renaud ; Philippe Verneques		
9h - 9h40		Dominik Kriegner
9h40 - 10h		Anne Ponchet
10h - 10h20		Williams Lefevre
10h20 - 11h		Christian Mocuta
rayons X synchrotron sur semi-conducteurs		
Analyse chimique quantitative de couches AlSb nanométriques et subnanométriques dans l'hétérostructure [InAs/AlSb]		
Correlative investigations by HAADF-STEM and Atom Probe Tomography		
Mesures de texture via les figures de pôles rapides en utilisant des détecteurs bidimensionnels sur la ligne de lumière DIFABS (Synchrotron SOLEIL)		
11h - 11h30 : PAUSE CAFÉ		
11h30 - 12h30		
Axe 5 : Nouvelles techniques instrumentales liées à l'épitaxie et nouveaux systèmes		
Alexandre Arnout, Paola Atkinson, Antoine Ronda		
11h30 - 12h		Yvon Cordier
12h - 12h30		Alexandre Arnout
Mesure in-situ de la courbure : un outil pour l'hétéroépitaxie		
Mesures in-situ pour la croissance de structures complexes : retour d'expérience sur le BandIT		
12h30-14h : DÉJEUNER		
14h - 15h		
Axe 5 : Nouvelles techniques instrumentales liées à l'épitaxie et nouveaux systèmes		
Alexandre Arnout, Paola Atkinson, Antoine Ronda		
14h - 14h20		Thomas Gaudy : société Hid SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ ET CARACTÉRISATION DES PROCESSUS MBE
14h20 - 15h		Isabelle Berbezier
Une fédération sur l'épitaxie ?		
15h-16h		
Axe 6 : Propriétés (optiques, électroniques, etc.) des systèmes épitaxés et applications		
Michele Amato, Hélène Carrere, Noëlle Gagneau		
15h - 15h30		Nikolietta Jegouyes
15h30 - 16h		Laurent Lombez
Piezoelectric properties of III-Nitride nanowires		
Caractérisation de dispositifs optoélectroniques par imagerie de luminescence		
16h-16h30 : PAUSE CAFÉ		
Axe 6 : Propriétés (optiques, électroniques, etc.) des systèmes épitaxés et applications		
Michele Amato, Hélène Carrere, Noëlle Gagneau		
16h30 - 17h		Vincent Consonni
17h - 17h30		Martina Morassi
Croissance ZnO et propriétés optiques		
Growth of In-rich InGaIn/GaN nanowires for nano-energy applications		
17h30-19h : SESSION POSTER 1		
DINER du GDR		

Axe 4 : Caractérisations ultimes : locales, microscopiques et globales

Patrick Le Fevre ; Gilles Renaud ; Philippe Venegues

Mardi 9h – 9h40

Structural properties from the global to the microscopic scale

Dominik Kriegner

*Institute of Physics ASCR, v.v.i., Praha, Czech Republic, and
Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Praha, Czech Republic*

Progress in instrumentation and measurement techniques is drastically changing how we study structural properties both on the global [1] as well as on the local/microscopic scale [2,3].

In my talk I will review our recent work on structural studies spanning the range from tectonic plates [1] to atomic defects in epitaxial nanostructures [4,5,6]. The later in particular benefits from recent improvements of synchrotron light sources, which now routinely offer pencil-like coherent x-ray beams, which allow to study structural properties on an unprecedented level. These pencil beams with sizes around 100 nm and high photon flux density can be used to map the crystalline properties of solids and thereby revealing their defect structure [2,5]. Using the excellent coherence of synchrotron beams the obtainable resolution can be smaller than the beam size [3] and even reach down to the ultimate atomic scale [5,6].

[1] M. D. Rowberry, DK, et al. Measurement 91 258 (2016)

[2] D. Kriegner, et al. J. Appl. Cryst. 50 369–377 (2017)

[3] A. Davtyan, DK, et al. J. Appl. Cryst., 50 673 (2017)

[4] L. Horák, DK, et al. J. Appl. Cryst. 50 385 (2017)

[5] V. Holý, DK et al. Appl. Phys. Lett. 110 121905 (2017)

[6] A. Davtyan, DK, et al. J. Sync. Rad. 24(5) (2017)

Mardi 9h40 – 10h

Analyse chimique quantitative de couches AlSb nanométriques et subnanométriques dans l'hétérostructure [InAs/AlSb]

M. Vallet¹, M. Descoins², B. Warot-Fonrose¹, C. Gatel¹, C. Magen³, R. Teissier⁴, A. N. Baranov⁴, D. Mangelinck² and A. Ponchet¹

¹ CEMES, CNRS et Université de Toulouse

² IM2NP, Université Aix-Marseille

³ LMA, INA-ARAIID, et Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Zaragoza, Spain

⁴ IES, Université de Montpellier

Avec une grande discontinuité de la bande de conduction de 2.1 eV, l'hétérostructure [InAs/AlSb] est bien adaptée aux lasers à cascade quantique (QCLs) pour l'émission dans le moyen infra-rouge (2-5 μm). Les interfaces - liaisons Al-As et/ou In-Sb - sont caractérisées par la discontinuité chimique de l'élément III et de l'élément V et par une forte variation de longueur des liaisons : les paramètres de maille d'AlAs et InSb (à l'état massif) sont en effet respectivement plus petits et plus grands que celui d'InAs de -7 et +7% (le désaccord paramétrique InAs/AlSb étant lui de 1.3%). La nature des interfaces peut dépendre des procédures de croissance. Nous avons montré que des interfaces majoritairement du type Al-As étaient obtenues en procédant à des interruptions de croissance sans flux entre des dépôts d'InAs(20 nm) et AlSb (4 nm) [1].

Nous avons alors réalisé une analyse plus quantitative de multicouches [InAs/AlSb] avec des épaisseurs AlSb de 4 nm jusqu'à des fractions de couches atomiques, réalisées dans les mêmes conditions afin de mieux comprendre la formation des interfaces. Cette étude a aussi pour but de caractériser finement les

dépôts inférieurs à la couche atomique, dont l'introduction dans les lasers à cascade quantique a permis pour la première fois de réaliser une émission autour de 20 μm [2].

Lorsque les couches sont suffisamment épaisses pour que l'on puisse définir des interfaces, la déformation élastique nous a servi de sonde pour caractériser la chimie de l'interface. Ainsi les interfaces s'étalent sur environ 1 nm et présentent un niveau de déformation comparable à des interfaces parfaites Al-As [3,4]. Pour aller plus loin dans la quantification de la composition chimique et étendre celle-ci aux couches les plus fines – lorsque l'on ne peut plus distinguer des interfaces – nous avons eu recours à des analyses en sonde atomique tomographique (APT) ainsi qu'à des analyses – à l'échelle de la colonne atomique – de l'intensité d'images obtenues par STEM (scanning transmission electron microscopy) dans le mode HAADF (high angle annular dark field). Les deux méthodes ont permis l'extraction de données quantitatives y compris pour des couches d'épaisseur équivalente à une fraction de plan atomique. Les couches AlSb présentent un déficit de Sb par rapport à Al pour toutes les épaisseurs étudiées. Ce déficit croît avec la quantité nominale déposée puis tend à se stabiliser autour de l'équivalent d'une monocouche pour les couches de 2 et 4 nm, ce déficit est alors clairement concentré aux interfaces, et son ordre de grandeur est cohérent avec les analyses de déformation élastique.

[1] Nicolai et al., J. Appl. Phys. 118, 035305 (2015)

[2] Bahriz et al Optics Express 23, 1523-1528, (2015).

[3] Vallet et al Appl. Phys. Lett. 108, 211908 (2016) ; Claveau et al Appl. Phys. Lett. 109, 041903 (2016)

Mardi 10h – 10h20

Correlative investigations by HAADF-STEM and Atom Probe Tomography

Williams Lefebvre, Florian Moyon, Antoine Normand, Nicolas Rolland, Ivan Blum, Auriane Etienne, Celia Castro, Fabien Cuvilly, Isabelle Mouton, Lorenzo Mancini, Lorenzo Rigutti, François Vurpillot

The ultimate capabilities achieved by electron microscopies and their associated techniques inevitably raise the following question: is there room for conceiving new ways of investigating materials at the nano-scale? Indeed, most recent TEMs and STEMs easily achieve sub-Angström spatial resolution, while allowing elemental mapping at the same scale. Meanwhile, electron tomography has unambiguously demonstrated the possibility to image atomic positions and defects. In these instruments, some physical properties (e.g. optical, magnetic) are now accessible, again with increased resolution. However, as far as an ultimate machine would allow correlating physical properties with a “perfect” determination of atomic species and atomic positions in 3D, one must recognize that such a tool is not yet available. Aside from electron microscopes, Atom Probe Tomography (APT), which is intrinsically a 3D technique, has received increased attention owing to drastic developments during the last decade. This tool enables reconstructing volumes of matter by determining atom positions in 3D, which nature is determined by time of flight mass spectrometry. Thanks to the improvement of specimen preparation protocols, APT can be applied to much broader areas of materials science (semi-conductors, bio-materials, geo-materials, soft mater and even liquids). Nowadays, intrinsic limitations of this tool reside in its limited detection efficiency (roughly 50% of atoms are detected) and in its anisotropic spatial resolution (though sub-Angström resolution is currently accessible along the direction of analysis, sub-nanometer resolution is achieved along transverse directions).

Strong advantages of APT rely in its possibility to detect all types of atoms, independently of their atomic number, in its excellent detection limit (few ppm in favorable cases but rarely more than 100 ppm), and in its intrinsic 3D nature. In order to collect a significant amount of information on a same nano-object, it is relevant to consider a correlative approach combining a TEM/STEM and APT. Motivations for such an approach are numerous. A non-exhaustive list would evoke: i) the possibility to associate structural defects (in TEM) with segregations (in APT); ii) associating the morphology of a particle (in electron tomography) with a 3D field of composition (in APT); iii) improving the quality of APT reconstructions by accessing additional information about the specimen morphology in TEM/STEM.

This presentation will begin with a rapid overview of the efforts made by the APT users community to promote this approach. Then, some illustrations will be given which relate the correlative investigation on alloys and quantum wells. The possibility to image APT specimens in STEM in high resolution mode (cf. Figure), while enabling atom counting will be discussed on the basis of HAADF-STEM image simulations.

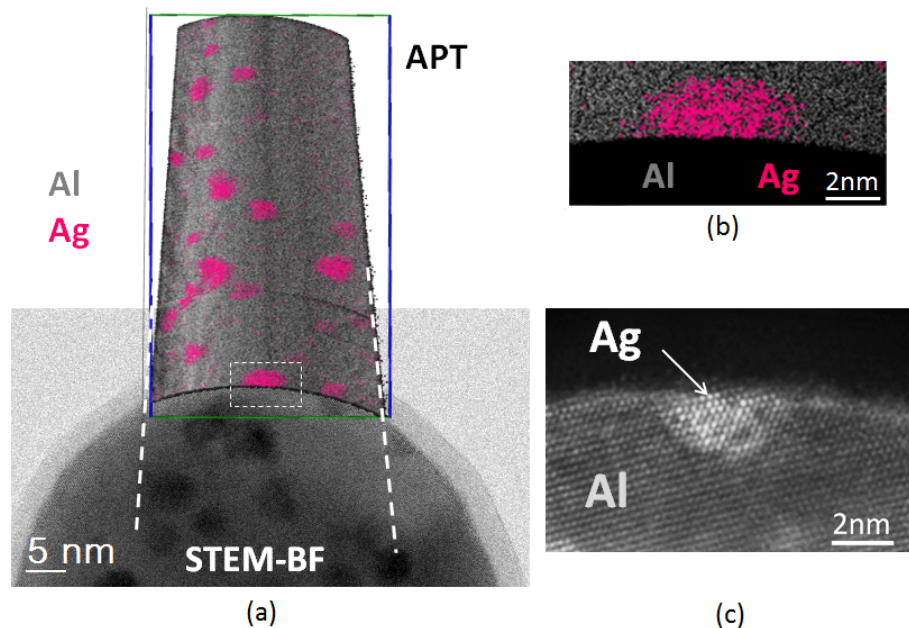


Figure: Al-1.7at% Ag alloy sample containing Ag-rich nano-scale precipitates investigated in APT and STEM. (a) Schematic superposition of the APT reconstruction (top) and of the APT specimen observed in BF-STEM once the APT analysis has been stopped. (b,c) Views in APT (b) and HAADF-STEM (c) of the same Ag precipitates.

Mardi 10h20 – 11h

Mesures de texture via les figures de pôles rapides en utilisant des détecteurs bidimensionnels sur la ligne de lumière DiffAbs (Synchrotron SOLEIL)

C. Mocuta¹, F. Geenen², N. Leclercq¹, J. Berthault¹, Ch. Detavernier²

¹Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers Saint-Aubin BP 48, 91192 Gif-sur-Yvette Cedex, France ; ²Research Group CoCooN, Department of Solid State Sciences, 9000 Gent, Belgique.

Une grande majorité des propriétés physiques des films minces et / ou des nanostructures sont en relation étroite avec leur microstructure interne; la connaissance de cette dernière est donc d'une importance majeure. La structure, le degré de cristallinité et la texture (information sur l'orientation préférentielle des cristallites, Cullity, 1978) d'un échantillon sont parmi les paramètres pertinents.

La texture d'un film mince (De Schutter *et al.* 2008) peut être relativement 'simple' (aléatoire / échantillon poly-cristallin, texture de fibre (Pellegrino *et al.*, 2012; Remiens *et al.*, 2011), épitaxie (Remiens *et al.*, 2011; Özcan *et al.*, 2002) ou plus 'complexe' (ex. axiotaxie : Detavernier *et al.*, 2003, Detavernier & Lavoie, 2004). L'accès et la quantification de la texture sont faits d'habitude en mesurant ce qu'on appelle des figures de pôles. Nous allons présenter une approche expérimentale optimisée, implémentée sur la ligne de lumière DiffAbs au Synchrotron SOLEIL (Mocuta *et al.*, 2013). En utilisant un détecteur bidimensionnel à pixels hybrides et une source intense de rayons X d'un synchrotron, ainsi que l'acquisition à la volée des données (flyScan, Leclercq *et al.*, 2015), la mesure de plusieurs figures de pôles (*i.e.* un domaine de plusieurs 10° en angle de diffraction 2 θ et avec une résolution angulaire sub-degré adapté pour la caractérisation des films minces métalliques) peut être effectuée en moins de 100 secondes. Les corrections nécessaires pour convertir les données dans des figures de pôles seront détaillées. Un gain dans le temps de la mesure de presque 2 ordres de grandeur par rapport à l'approche classique (avec utilisation de détecteur ponctuel) dans les mêmes conditions est obtenu. Une méthode rapide de 'filtrage' de la grande quantité de données obtenues, pour identifier rapidement pendant la campagne expérimentale les situations d'intérêt (nouvelles phases cristallines, nouvelles textures) sera aussi présentée. Cette approche ouvre des nouvelles voies pour la caractérisation des matériaux. L'investigation des faibles quantités de matière (film minces d'épaisseur de quelques nm, clusters ou nanostructures) est possible. La rapidité de la méthode permet aussi d'envisager dans un temps raisonnable l'étude d'un grand nombre d'échantillons (étude ex-situ systématique de la variation d'un paramètre tel que la composition). En plus, du fait d'accès à des mesures complets sur un domaine angulaire étendu, pas besoin d'une connaissance préalable de la phase cristalline à investiguer - des études d'apparition ou de transformation de phase (recuit thermique in-situ) deviennent accessibles.

Nous allons illustrer cette approche par un exemple sur des siliciures de nickel sous forme de films minces, utilisées dans des transistors à effet de champ semi-conducteur à oxyde métallique (MOSFET) comme couche intermédiaire entre le substrat semi-conducteur en Si (ou $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$, SiC) et les connectiques (fils) pour résoudre les problèmes de contact électrique.

Une partie de cette étude a été financée par FWO Vlaanderen (Fonds de recherche scientifique Flandre). Les résultats présentés ont été obtenus sur la ligne de lumière DiffAbs (Synchrotron SOLEIL).

Cullity, B.D. (1978). Elements of X-ray Diffraction, 2nd ed., Addison-Wesley

De Schutter, B., De Keyser, K., Lavoie, C., & Detavernier, C. (2016). Appl. Phys. Rev. 3, 031302.

Detavernier, C. *et al.* (2003). Nature, 426, 641–645.

Detavernier, C. & Lavoie, C. (2004). Appl. Phys. Lett. 84, 3549.

Geenen, F. (2017), Formation and texture of thin film silicides, PhD thesis, Ghent University.

Leclercq, N., *et al.* (2015). 15th ICALEPCS Melbourne, Australia.

Mocuta, C., *et al.* (2013). J. Appl. Cryst. 46, 1842.

Özcan, A.S. *et al.* (2002). J. Appl. Phys. 92, 5011.

Pellegrino, G., *et al.* (2012). J. Phys. D Appl. Phys. 45, 355301.

Remiens, D. *et al.* (2011). J. Appl. Phys. 109, 114101.

Axe 5 : Nouvelles techniques instrumentales liées à l'épitaxie et nouveaux systèmes

Alexandre Arnoult, Paola Atkinson, Antoine Ronda

Mardi 11h30 – 12h

Mesure in-situ de la courbure : un outil pour l'hétéroépitaxie.

Y. Cordier¹, R. Comyn¹, E. Frayssinet¹, M. Khoury^{1,2}, M. Lesecq², N. Defrance², J-C. DeJaeger²

¹Université Côte d'Azur, CNRS, CRHEA, rue B. Grégory, 06560 Valbonne, France

²IEMN-CNRS, Avenue Poincaré CS 60069, 59652 Villeneuve d'Ascq, France

La déformation occasionnée durant l'hétéro-épitaxie d'un film sur son substrat s'accompagne généralement d'une contrainte qui induit la courbure de ce dernier. Cette courbure, peut renseigner sur les mécanismes de relaxation des contraintes durant la croissance du film ainsi que sur les propriétés thermoélastiques des matériaux soumis à des changements de température. Dans le présent exposé, les principes de la technique de mesure in-situ de la courbure seront exposés et des exemples essentiellement empruntés à la croissance des Nitrures d'éléments III par EJM et par EPVOM illustreront comment les équipements développés permettent de comprendre et optimiser l'hétéro-épitaxie.

Mardi 12h – 12h30

Mesures in-situ pour la croissance de structures complexes : retour d'expérience sur le BandiT.

A. Arnoult

Université de Toulouse, LAAS, 7 Avenue du Colonel Roche, 31000 Toulouse, France

Plusieurs dispositifs de suivi in-situ de la croissance ont été développés ou installés sur le bâti du LAAS dévolu à la croissance de structures complexes à base de GaAs (VSCEL, QCL, etc...). Ces outils donnent des informations simultanées et complémentaires, et permettent un retour sur l'épitaxie en cours, grâce notamment à une interaction avec le logiciel de pilotage du bâti.

L'un de ces outils, le BandiT, permet la mesure de température via la mesure du gap optique du matériau. Cet outil permet aussi une mesure de la réflectivité en cours de croissance dont il est possible de tirer des informations pertinentes. Les possibilités, mais aussi les limites du BandiT pour la mesure de température seront exposées. Plus généralement, une synthèse des différents outils utilisés et leur complémentarité sera présentée.

Mardi 14h – 14h20

Système de contrôle de la qualité et caractérisation des processus

Thomas GAUDY, Peter HATTON

Hidden Analytical Ltd

L'épitaxie par faisceau moléculaire a lieu sous vide poussé ou UHV. L'aspect le plus important de ce processus est la vitesse de dépôt (moins de 50 nm/min.), ce qui permet aux films de se développer sous forme cristalline, c'est-à-dire la croissance d'une couche mince sur la surface d'un cristal de sorte que la couche ait la même structure que le cristal en-dessous. Les taux de dépôt nécessitent un vide ultra-poussé pour atteindre les mêmes niveaux d'impuretés que d'autres techniques de déposition. L'absence de gaz porteurs ainsi que l'environnement à très haut vide de la technique MBE produit la plus grande pureté réalisable des films développés.

Les instruments de la société Hidden Analytical - l'analyseur de gaz résiduel Hiden HALO 201 MBE, le moniteur de vitesse de dépôt XBS, ainsi que notre système AutoSIMS - fournissent les outils de contrôle de

qualité et de caractérisation requis pour la productivité optimale pour la croissance de couches minces par des processus de dépôt multicouches MBE.

Le système RGA Hiden HALO 201 MBE est un analyseur de gaz résiduel conçu pour l'analyse de la contamination sous vide, avec volume d'ionisation de la sonde totalement enveloppée afin d'inhiber une déposition de surface de façon aléatoire.

Les matériaux de construction utilisés sont limités à l'acier inoxydable, au molybdène et à l'alumine pour minimiser une contamination éventuelle des procédés dans des environnements agressifs. Le système est proposé avec une gamme de masse de 1-200 uma pour la mesure de tous les gaz et contaminants communs.

Le moniteur de taux de déposition Hiden XBS est conçu pour des analyses de faisceau moléculaire et fournit un signal pour un contrôle précis de la vitesse de dépôt pour des taux de croissance allant jusqu'à 1 Angstrom / sec.

Le SIMS modulaire Hiden fournit une caractérisation de couches minces in situ, un contrôle de la contamination pour le profil de profondeur in situ, une imagerie SIMS ainsi qu'une protection de l'enceinte contre la contamination.

Le système AutoSIMS ainsi que le poste de travail TPD sont des instruments autonomes qui offrent une caractérisation de couches minces fournissant des informations vitales sur la qualité des couches et un contrôle de production.

Axe 6 : Propriétés (optiques, électroniques, etc.) des systèmes épitaxiés et applications

Michele Amato, Hélène Carrere, Noëlle Gogneau

Mardi 15h – 15h30

Piezoelectric properties of III-Nitride nanowires

N. Gegenyés¹, M. Morassi¹, N. Jamond¹, P. Chrétien², F. Houzé², L. Lu¹, L. Largeau¹, L. Travers¹, J. C. Harmand¹, F. Glas¹, E. Lefeuvre¹, F. Julien¹, M. Tchernycheva¹, N. Gogneau¹

¹ *Centre des Nanosciences et des Nanotechnologies, CNRS-UMR 9001, Université Paris-Saclay, France*

² *Laboratoire de Génie Électrique et Électronique de Paris, UMR 8507 CNRS, CentraleSupélec, Université Paris-Sud et UPMC, France*

The development of autonomous micro-devices for sensing, monitoring and nomad electronics constitutes an important challenge. Nanowires (NWs), presenting piezoelectric properties, have recently emerged as excellent candidates to fabricate novel ultra-compact and highly efficient piezo-generators (PGs). Indeed, thanks to their superior mechanical properties, higher sensitivity to applied force and higher piezoelectric response over conventional PGs, the NWs have the potential to fundamentally improve the electrical generator performances.

Since the first demonstration of electrical energy generation by bended ZnO NWs in 2006, PGs have been intensively studied with the development of different designs, today delivering power density in the $\mu\text{W}-\text{mW}/\text{cm}^3$ range. Since few years, III-Nitrides NWs have been explored due to their high piezoelectric coefficients and their recently reported strong piezo-generation response.

However, in spite of the current research efforts on nanomaterials with the increased discussions on the benefits of NWs to improve the energy conversion efficiency, there is a lack of fundamental understanding of piezoelectric properties of these nanostructures. This lack compromises the prediction of the piezoelectric potential, the improvement of the mechanical to electrical energy conversion, and thus the development of optimized nanowire based piezo-generators.

Based on a systematic multi-scale analysis, going from single NW properties to macroscopic device fabrication and characterization, we demonstrate the high potential of these nanostructures to develop high efficient PGs. We establish the high capacity of III-N NWs to convert mechanical energy into electric energy, since they can generate output voltage of several hundred of mV per NW, largely exceeding those generated by other piezoelectric 1D nanostructures. We also establish for GaN NWs the relationship between the material properties and the piezo-generation. Thank to this fine understanding of the piezo-conversion mechanisms, we propose an efficient piezo-generator design operating under compressive strain. The devices integrate NW arrays of several square millimeters in size and deliver a maximum power density of $12.7 \text{ mW}/\text{cm}^3$. This value settles the new state of the art for piezo-generators based on GaN NWs and more generally on nitride NWs. These results offer promising prospects for the use of GaN NWs for high-efficiency ultra-compact energy harvesters, since the generated power density is already interesting for real world applications such as remote wireless transceivers.

Mardi 15h30 – 16h

Caractérisation de dispositifs optoélectroniques par imagerie de luminescence

Laurent Lombez
IRDEP, CNRS/EDF

En optoélectronique, et dans le domaine du photovoltaïque en particulier, les méthodes d'imagerie de luminescence servent à optimiser les dispositifs. D'un point de vue industriel, ces méthodes sont sans contact et non destructives : elles peuvent donc être utilisées à différentes étapes de la chaîne de fabrication. D'un point de vue fondamental, ces méthodes permettent également d'envisager de nouvelles générations de cellules solaires à très haut rendement (nouveaux mécanismes physiques).

Tout d'abord les principes et méthodes basés sur l'analyse de luminescence seront présentés. Les notions fondamentales seront évoquées ainsi que la validation expérimentale des méthodes utilisées. Ensuite, nous présenterons l'application de ces méthodes aux cellules solaires en couches minces et j'exposerai le potentiel

de la luminescence comme outil d'analyse de nouvelles cellules. Nous verrons la généralité des méthodes optiques utilisées en optoélectronique ainsi qu'une application au domaine de la thermoélectricité.

Mardi 16h30 – 17h

Selective area growth of ZnO nanowires: polarity and doping issues

Thomas Cossuet,¹ Claire Verrier,^{1,2} Jean-Luc Thomassin,³ Hervé Roussel,¹ Laetitia Rapenne,¹ Fabrice Donatini,⁴ Alex Lord,⁵ Quentin Raffay,² Anne Kaminski-Cachopo,² Julien Pernot,⁴ Eirini Sarigiannidou,¹ Estelle Appert,¹ and Vincent Consonni^{1*}

¹ *Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LMGP, Grenoble, France.*

² *Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, IMEP-LAHC, Grenoble, France.*

³ *Université Grenoble Alpes, CEA-Grenoble, INAC-PHELIQS-LATEQS, Grenoble, France.*

⁴ *Université Grenoble Alpes, CNRS, Institut NEEL, Grenoble, France.*

⁵ *Center for Nanohealth, College of Engineering, University of Swansea, Singleton Park, SA28PP, UK.*

Over the last decade, ZnO nanowires (NWs) have been used for a variety of sensing, electronic, optoelectronic, and photovoltaic devices. For all these applications, the structural uniformity of ZnO NWs (i.e. shape, dimensions: diameter, length, period), the nature of their polarity, and their electrical properties should carefully be controlled to improve their performances. Although the chemical bath deposition (CBD) of ZnO NWs has widely been investigated as a low-cost, easily implemented technique, i) its coupling with the selective area growth using technological processes in a cleanroom environment is still under development [1], and ii) the polarity and doping issues are still open. In this context, the dependence of the growth mechanisms and properties of selective area grown ZnO NWs on their polarity is investigated using electron microscopy, optical, and electrical measurements. We show that the growth rates of O- and Zn-polar ZnO NWs are distinct, which is explained in the framework of surface reaction- / diffusive transport-limited elongation regime analysis [2]. Additionally, the aluminium doping of ZnO NWs grown by CBD is achieved by the addition of an aluminium-based chemical precursor. The formation mechanisms and doping are reported in details by combining thermodynamic simulations with *in situ* pH measurements as well as optical and structural analyses [3].

[1] V. Consonni *et al.* ACS Nano 8, 4761 (2014).

[2] T. Cossuet *et al.* Langmuir 33, 6269 (2017).

[3] C. Verrier *et al.* The Journal of Physical Chemistry C 121, 3573 (2017).

Mardi 17h – 17h30

Growth of In-rich InGaN/GaN nanowires for nano-energy applications

¹Martina Morassi, ¹L. Largeau, ¹N. Jegenyes, ²H-G. Song, ¹F. Oelher, ¹S. Collin,
¹L. Travers, ¹P. Chretien, ¹F. Houze, ¹F. Julien, ²Y-H. Cho, ¹J-C. Harmand, ¹F. Glas,
¹M.Tchernycheva, ¹N. Gogneau

¹*Center of Nanosciences and Nanotechnologies (C2N) CNRS, France*

²*Department of Physics and KI for the NanoCentury, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Korea*

Semiconductor nanowires (NWs), due to their unique properties, have opened up ways for novel physics and device applications. Among innovative concepts of light-weight nano-scale energy converters, axially heterostructured $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ nanowires (NWs) are promising candidates for photovoltaics and piezoelectric energy converters. However, the mastering of the InGaN/GaN NWs synthesis still remains a key challenge and a fundamental requirement to fully understand their potential and integrate them in viable applications.

In the present work, we demonstrate the growth of self-assembled InGaN/GaN NWs on Si(111) substrates by Plasma-Assisted Molecular Beam Epitaxy (PA-MBE). The morphology, structure, composition and strain state of the NW InGaN sections are investigated on both single NWs at the nanometer scale and on NW ensembles. By controlling the growth conditions, we establish the possibility to tune the morphology of the InGaN insertion (from tapered to non-tapered shape), as well as the $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ composition in the $0.05 < x < 0.40$ range. We evidence the spontaneous formation of core-shell sections, with homogeneous

compositions and elastic or plastic relaxation mechanism depending on the specific morphology. By means of growth rate and In desorption measurements we highlight that the In/Ga flux ratio is the critical parameter affecting the V/III ratio at the NW growth front. In the specific, we demonstrate that In-rich flux conditions allow to establish In-adlayer surfacing conditions at the growth front, which in turn promote the growth of In-rich InGaN heterostructures retaining the NW diameter (non-tapered). The good quality of the so-grown In-rich InGaN/GaN NW heterostructures is confirmed by a Photoluminescence IQE of 44% for InGaN heterostructures with 40% of In content.

Session Poster : mardi

Propriétés optiques des boîtes quantiques InAs sur InP(311)B émettant à 1,9 μm .

Nicolas Chevalier
FOTON, Univ. Rennes

Au cours de ces dernières années, la détection et la spectroscopie de gaz connaît un intérêt croissant, pour les applications en lien avec l'environnement ou la défense. En particulier, il y a un réel besoin industriel pour la détection de gaz tels que le CH_4 , CO , N_2O , CO_2 , HBr et l' HF . Quand la plupart des systèmes de détection sont de nature électro-chimique, la détection optique représente un réel avantage, tant par sa sensibilité, par sa rapidité de mesure et sa durée de vie. Les mesures par spectroscopie d'absorption par diode laser accordable (TDLAS), impliquent de disposer de lasers performants émettant aux longueurs d'onde d'intérêt, typiquement autour de 2 μm pour les gaz précédemment cités. De manière classique, les sources lasers sont issues de la filière GaSb qui permet la réalisation de lasers dans la bande spectrale [2-3] μm [1]. Plus récemment, il a été montré des émissions lasers et VCSELs à 1,95 et 2,3 μm basées sur la filière de matériaux InP, qui bénéficie d'une réelle maturité technologique [2].

Dans ce contexte, nous présentons les propriétés structurales et optiques des boîtes quantiques (BQs) InAs sur substrat InP d'orientation cristalline (311)B réalisées par épitaxie par jet moléculaire à sources gazeuses. Une étude en fonction de différents paramètres de croissance a permis d'obtenir une importante variation de la densité surfacique des BQs de 10^{10} à $2 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ (Figure (2)). L'étude des propriétés de photoluminescence a permis d'étendre les longueurs d'onde d'émission de 1,5 à 1,9 μm , tout en conservant des rendements de photoluminescence comparables à celle de puits quantiques avec les mêmes matériaux (Figure (1)). La prochaine étape consistera à réaliser les dispositifs lasers à émission par la tranche et VCSEL, et d'évaluer leurs performances par des expérimentations TDLAS.

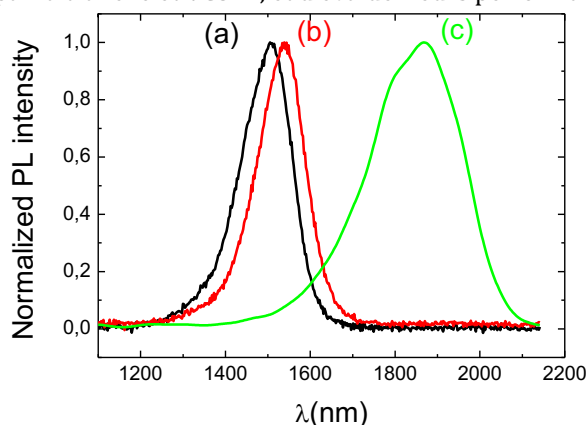
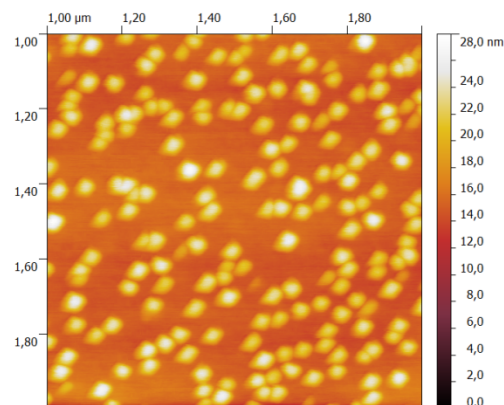


Figure (1) : Spectres de photoluminescence (300K) sous différentes pressions d' AsH_3 ((a) 0.3cc, (b) 1 cc, (c) 13 cc)



(2) Image AFM ($1 \times 1 \mu\text{m}^2$) des boîtes quantiques obtenues sous un flux de 13cc d' AsH_3

Ce projet bénéficie du soutien du projet de recherche ANR- 15-CE24-0034-01.

[1] Q. Gaimard, M. Triki, T. Nguyen-Ba, L. Cerutti, G. Boissier, R. Teissier, A. Baranov, Y. Rouillard, and A. Vicet, Distributed feedback GaSb based laser diodes with buried grating: a new field of single-frequency sources from 2 to 3 μm for gas sensing applications, Optics Express Vol. 23, Issue 15, pp. 19118-19128 (2015)

[2] T. Gruendl, K. Zogal, P. Debernardi, C. Gier2, C. Grasse, K. Geiger, R. Meyer, G. Boehm, M-C Amann, P. Meissner, 50 nm continuously tunable MEMS VCSEL devices with surface micromachining operating at 1.95 μm emission wavelength, Semiconductor Science and Technology, Volume 28,012001 (2013)

DH-HEMTs AlGa_N/Ga_N/AlGa_N hétéro-épitaxiés sur un substrat de silicium texturé

Rémi Comyn, Sébastien Chenot, Wissam El Alouani, Maud Nemoz, Eric Frayssinet,
Benjamin Damilano, Yvon Cordier

Université Côte d'Azur, CNRS, CRHEA, rue Bernard Gregory, Valbonne, 06560, France

L'amélioration des performances en puissance de transistors à haute mobilité électronique (HEMTs) AlGa_N/Ga_N sur silicium passe par un meilleur confinement des charges contenues dans le canal, par exemple en insérant une seconde hétérostructure Ga_N/AlGa_N sous le canal, formant ainsi une double hétérostructure (DH-HEMT AlGa_N/Ga_N/AlGa_N). Cependant, l'efficacité de cette approche dépend étroitement de l'épaisseur et du taux d'aluminium de la couche AlGa_N formant la seconde hétérostructure, en l'occurrence la couche tampon. Or, l'augmentation de ces deux paramètres favorise dans le même temps la formation de fissures et de dislocations dans la structure, du fait de la différence de paramètres de mailles et de coefficient de dilatation thermique entre AlGa_N et Si. Pour contourner cette difficulté, nous proposons de combiner les techniques d'ingénierie de contraintes classiques avec l'utilisation d'un substrat Si texturé, afin de tirer avantage de la relaxation des déformations sur les bords de motifs. Cette approche a déjà montré son efficacité pour la fabrication de composants optoélectroniques III-N, mais peu de résultats existent concernant les composants électroniques tels que les HEMTs AlGa_N/Ga_N. Dans cette étude, des mesas de 120 x 120 μm² ont été définies dans un substrat Si (111) sur lesquels une double hétérostructure Al_{0.29}Ga_{0.71}N/GaN/Al_{0.15}Ga_{0.85}N a été hétéro-épitaxiée sous jets moléculaires. Grâce à la texturation et à l'insertion d'un intercalaire AlGa_N/AlN épais entre la couche de nucléation AlN et la couche tampon Al_{0.15}Ga_{0.85}N, cette dernière a pu être épaissie jusqu'à 2 μm sans fissuration de la structure ni modification de la surface. De plus, les mesures de diffraction aux rayons X mettent en évidence l'absence de relaxation dans le canal Ga_N épitaxié sur la couche tampon Al_{0.15}Ga_{0.85}N. Afin d'évaluer les propriétés électriques de la structure DH-HEMT texturée, des composants tests ont été fabriqués. Les mesures C-V et TLMs indiquent la présence d'un gaz bidimensionnel d'électrons avec une densité de porteurs de l'ordre de 7 x 10¹² cm⁻² et une résistance de feuille de 450 Ω/m. Des transistors circulaires ont été testés jusqu'à 200 V entre la source et le drain : en particulier, la comparaison avec une structure DH-HEMT non texturée et une couche tampon Al_{0.05}Ga_{0.95}N montre une réduction d'un ordre de grandeur dans les courants de fuite en régime bloqué suite à l'augmentation de 10 % du taux d'aluminium dans la couche tampon.

A low Energy Electron Microscopy study of the growth and surface electromigration of Au on Ge(111)

Ali El Barraj, Stefano Curiotto, Fabien Cheynis, Pierre Müller, Frederic Leroy
CINaM-CNRS UMR 7325, Campus de Luminy Case 913 13288 Marseille Cedex 9, France

This work focuses on two phenomena where the surface diffusion of Au on Ge plays an important role. The first one is the nucleation of Au islands on the $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ Au-Ge(111) surface and their growth by Ostwald ripening; the other one is the motion of $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ - 2D domains on the 1x1 Au-Ge(111) surface under the effect of an electric current passing through the sample[1].

The experiments were performed in an Ultra High Vacuum (UHV) setup equipped with a Low Energy Electron Microscope [2]. The Au/Ge(111) system follows the Stranski-Krastanov growth mode [3], after preparation of a clean Ge substrate, on Au deposition a single $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ Au-Ge layer is formed on the surface, followed by the growth of 3D islands. In absence of external flux, the number of islands decreases while their size increases because of Ostwald ripening. We have measured the density of particles in different conditions of Au flux and substrate temperature. Then, using the theories developed by Venables et al. [4] for the nucleation of islands on a surface and by Chakraverty [5] for the Ostwald ripening, we have found the diffusion energy of Au on the $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ Au-Ge(111) surface and the size of the critical nucleus to form 3D islands.

When a direct electric current is applied to a sample, a force called electromigration may apply on the diffusion of surface atoms, resulting in a global mass transfer [6]. We have studied the drift, induced by a direct electric current (~ 106 A.m⁻²), of 2D $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -domains on atomically flat terraces of 1x1 Ge(111). The domains velocity depends on the temperature (Joule effect) and on the electric current. Increasing the temperature between 500-640°C, the Au domains velocity varies from 30 to 800 nm.s⁻¹. The effective energy for the diffusion of the domains is 0.82 eV at high temperature and 2.15 eV at low temperature. With a careful characterization of the domain motion as a function of the island size, we have found that terrace diffusion is the main mechanism controlling the displacement of the 2D domains.

- [1] P.S. Ho and T. kwok, Rep. Prog. Phys. 52, 301-348 (1989)
- [2] F. Cheynis et al. Rev. Sci. Instru. B 85 043705 (2014)
- [3] J.A. GIACOMO, PhD Thesis, University of california, Davis (2009)
- [4] J.A. Venables, G.D.T. Spiller, M. Hanbücken, Rep. Prog. Phys. 47 (1984) 399.
- [5] B.K. Chakraverty, J. Phys. Chem. Solids 28 (1967) 2401
- [6] C. Tao et al., Science 328 736-740 (2010)

Tunnel junctions in gallium nitride heterostructures for LED applications

V. Fan Arcara^{1,2}, B. Damilano¹, G. Feuillet², J. Brault¹, A. Courville¹, S. Chenot¹, J-Y. Duboz¹

1 Université Cote d'Azur, CNRS-CRHEA, Rue B. Gregory, 06560 Valbonne, France

2 Université Grenoble Alpes, CEA, LETI, MINATEC Campus, 17 Avenue des Martyrs, 38000 Grenoble, France

Ultraviolet light emitting diodes (LEDs) made of nitrides are attracting a lot of interest due to their potential for the development of water and air treatment and of skin diseases prevention. Their efficiency depends on the light extraction efficiency and the electron and hole injections into the active region, which can be improved by inserting a tunnel junction (TJ) on top of the structure. In this work we report the growth by molecular beam epitaxy (MBE) of a TJ on top of a regular GaN p-n junction, followed by the surface morphology characterization through scanning electron microscopy and atomic force microscopy. A p-n junction with an identical structure but without the TJ was grown for comparison purposes. The sample was clean-room-processed with the aid of reactive ion etching and the metallic contacts were annealed by Rapid Thermal Annealing (RTA). The mask utilized was of the conventional chip type (CC) with different LED sizes and there was no need for the insertion of a semi-transparent contact on the LEDs because of the tunneling contacts. The JV curves showed that LED with smaller surfaces presented lower voltages than the LED with bigger surfaces for the same current or current density. It also showed that the TJ induced an increase in the threshold voltage ($\sim 5V$), but at high current density the TJ voltage becomes lower than the regular p-n junction. The total specific resistance achieved was in the order of $10^{-2} \Omega \text{cm}^2$, and the tunnel junction contacts were 10^5 times less resistive than the regular contacts. The device showed homogeneous emission, and the EL spectrum showed a single peak at 364nm corresponding to UV-A. This work is supported by GANEX and by the CEA Grenoble.

Jonctions tunnel AlGaAsSb/AlGaInAs accordées et relaxées sur substrat GaAs pour les applications photovoltaïques.

K. Louarn^{1,2}, Y. Claveau³, A. Arnoult¹, C. Fontaine¹, J. Colin¹, C. Cornille¹, I. Massiot¹, L. Marigo-Lombard¹, F. Piquemal², A. Bounouh⁴, N. Cavassilas³ and G. Almuneau¹

¹ LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France

² LNE, 29 avenue Roger Hennequin, F-78197, Trappes, France

³ Aix Marseille Université, CNRS, Université de Toulon, IM2NP UMR 7334, 13397, Marseille, France

⁴ CEA LIST, Centre d'études, F-91400, Gif-sur-Yvette, France

Les Jonctions Tunnel (JT) sont des composants très importants pour les cellules solaires multi-jonction, puisqu'elles assurent la connexion électrique en série entre les différentes sous-cellules. Récemment, il a été fabriqué par EPVOM des JTs AlGaAs:C/GaAs:Te et AlGaAs:C/GaInP:Te atteignant des densités de courant pic J_{pic} records de 10 kA/cm^2 sur substrat GaAs [1], en remplaçant le dopant N usuel Si par du Te et permettant ainsi d'obtenir les forts niveaux de dopages nécessaires pour augmenter la probabilité d'effet tunnel dans le composant. Nous avons travaillé sur une autre approche pour obtenir des JT de "hautes" performances: il s'agit de profiter des offsets de bandes de l'hétérojonction AlGaAsSb/AlGaInAs de type II pour augmenter la probabilité d'effet tunnel.

Nous avons fabriqué par EJM des JTs pseudomorphiques et métamorphiques (Al)GaAsSb/(Al)InGaAs (5% à 10 % en concentration de In et Sb). L'Aluminium est utilisé pour optimiser la transparence de la JT, et donc limiter les pertes optiques par absorption en vue de l'intégration dans des cellules solaires multi-jonction. Nous avons dans un premier temps étudié l'impact des épaisseurs des parties GaAsSb et GaInAs sur les performances électriques de la JT, puis nous proposons deux approches pour obtenir des JTs de

hautes performances: l'une adaptée aux cellules solaires multi-jonctions accordées en maille sur GaAs et l'autre adaptée aux cellules métamorphiques.

Contre toutes attentes, l'incorporation de In et Sb dans des JT "fines" (10 à 30 nm) a dégradé les performances du composant comparé à une JT GaAs équivalente. Au contraire, des JT AlGaAsSb/AlGaInAs "épaisses" (100 nm) présentent une amélioration des performances électriques, malgré la relaxation des couches mise en évidence par un suivi des contraintes in-situ. Des problèmes d'injection et d'extraction des porteurs de charges dans les JT "fines" à cause d'un confinement quantique sont selon nous à l'origine de ce comportement, ce qui est à l'étude par des simulations semi-classiques [2] et quantiques [3]. Nous présenterons alors notre développement d'une JT GaAs/GaAsSb/InGaAs/GaAs pseudomorphique qui a obtenu un J_{pic} de 1500 A/cm² (soit 5 fois plus que la JT GaAs référence) puis le développement d'une JT AlGaInAs/AlGaAsSb sous la forme d'un buffer graduel métamorphique en vue de l'incorporation d'une sous-cellule à base de GaAsBi.

[1] I. García *et al*, "Performance analysis of AlGaAs/GaAs tunnel junctions for ultra-high concentration photovoltaics," *J. Phys. Appl. Phys.*, vol. 45, no. 4, p. 45101, Feb. 2012.

[2] K. Louarn *et al*, "Modelling of interband transitions in GaAs tunnel diode," *Semicond. Sci. Technol.*, vol. 31, no. 6, p. 06LT01, Jun. 2016.

[3] N. Cavassilas *et al*, "Modeling of nanoscale solar cells: The Green's function formalism," *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 1, p. 11203, Jan. 2014.

[1] S. Chen *et al*, 'Electrically pumped continuous-wave III-V quantum dot lasers on silicon', *Nat. Photonics*, vol. 10, no. 5, pp. 307–311, May 2016.

[2] P. Müller and R. Kern, 'Equilibrium nano-shape changes induced by epitaxial stress (generalised Wulff-Kaishew theorem)', *Surf. Sci.*, vol. 457, no. 1–2, pp. 229–253, Jun. 2000.

Semi-Polar Pseudo-substrate GaN

Rami Mantach¹⁻², Philippe Vennégues¹, Guy Feuillet²

¹CRHEA rue Bernard Grégory 06560 Valbonne,

²CEA LETI 17 rue des Martyrs 38054 Grenoble

Group-III nitride semiconductors (including GaN, AlN...) have a direct band gap emission from 0.7 to 6.2 eV and, as such, they are essential materials for the optoelectronic devices. The applications of these devices are mainly limited to polar GaN grown along C-axis (on sapphire and Silicon mainly). This polar orientation poses a number of fundamental issues which can be avoided using semi polar and non-polar growth orientations. Indeed, along these orientations, heterostructures will be free of polarization effects, namely the quantum confined Stark effect as present in polar quantum wells. Another specific advantage of the semi polar orientation is the possibility of enhanced indium incorporation, for reaching the red region of the visible spectrum.

Semi polar growth is usually carried out on either sapphire or silicon substrates which are patterned to expose inclined facets. In the work presented here, we want to focus on the use of SOI substrates to expose smaller facets. Indeed, the growth of GaN nitrides on Si substrates is confronted to the melt back etching problems leading to rapid degradation of the nitride layers, which is all the more important as the exposed facet is larger.

We will present the specific technology steps leading to the patterned SOI substrates. We will discuss the influence of the substrate design and growth parameters on the selectivity of the GaN growth and the growth results in terms of atomic diffusivity on the mask and GaN flux applied during the Growth.

Couches minces La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ sur substrats de silicium pour bolomètres non refroidis

L. Méchin, B. Guillet, S. Liu, A. Aryan, V.M. Nascimento, M. E. B. G. N. Silva
Normandie Univ., UNICAEN, ENSICAEN, CNRS, GREYC, 14000 Caen, France

Le matériau La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ (LSMO) est connu pour présenter une transition métal - isolant, qui est associée à une forte variation de la résistance électrique R avec la température, dans une gamme de

température voisine de 300 K. Le coefficient de température de la résistance, noté $TCR=(1/R) \times (dR/dT)$, est de l'ordre de $2\% K^{-1}$, ce qui rend LSMO intéressant pour la réalisation de bolomètres infrarouges non refroidis. Des couches minces LSMO de haute qualité épitaxiale ont été déposées sur des substrats de silicium par épitaxie à jets moléculaires en utilisant $SrTiO_3$ ou $CaTiO_3$ comme couches tampons [1,2]. Après gravure isotrope du substrat de silicium par gravure ionique réactive, un grand nombre de ponts suspendus LSMO de différentes largeurs (2 ou 4 μm) et longueurs (de 50 à 200 μm), et d'épaisseur comprise entre 10 et 100 nm ont été caractérisés [3]. La conductivité thermique de ces ponts suspendus a été mesurée dans la gamme $3 \times 10^{-8} - 3 \times 10^{-5} W \cdot K^{-1}$ à 300 K, ce qui est plus de quatre ordres de grandeur plus faible que la conductance thermique des ponts non suspendus. La sensibilité des bolomètres LSMO est ainsi augmentée de plus de 4 ordres de grandeur. En parallèle, en utilisant des géométries optimisées et des conditions de mesure adaptées, nous avons montré que le bruit en $1/f$ dans les couches minces suspendues LSMO est très faible [4], ce qui a finalement permis d'obtenir des performances à l'état de l'art.

[1] L. Méchin *et al.*, Physica Status Solidi A Vol. 209 Issue 6 1090-1095 (2012)

[2] C. Adamo *et al.*, APL Materials 3, 062504 (2015)

[3] S. Liu, *et al.*, Microelectronic Engineering Vol. 111, 101-104 (2013)

[4] L. Méchin, *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. - Fast Track Communication 46 202001 (2013)

Ge homo-epitaxy on Ge patches on silica obtained by Metal Induced Crystallization

Daniel Pelati, A. Cattoni, S. Collin, F. Brisset, L. Largeau, O., Mauguin, G. Patriarche, J-C Harmand, F. Glas, Fabrice Oehler

Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France

Many semiconductor-based devices require a mono-crystal. Yet, out of the volume of a wafer, only the final micron is useful for the actual device fabrication or epitaxy. The rest plays no other role than mechanical support while it has the same purity and cost. We use here a thin (~ 20 nm) crystalline patches of germanium on silica obtained by Metal Induced Crystallization (MIC) process. Ge crystalline layers are good candidates for a subsequent epitaxy of GaAs thanks to the close lattice match. Meanwhile, the crystalline quality of the Ge is determinant for the quality of the successive epitaxy layers. We investigate here the homo-epitaxy by MBE of Ge on recrystallized Ge on silica to improve the MIC-Ge crystalline quality. We show that it is possible to have selective growth on the Ge patches, with respect to silica. With ex-situ EBSD characterization (Figure 1) we show also that the partial (111)-texture of the recrystallized Ge layer result in partially (111) epitaxy growth of Ge. Successive study will be necessary for further Ge layer planarization and defect reduction characterization.

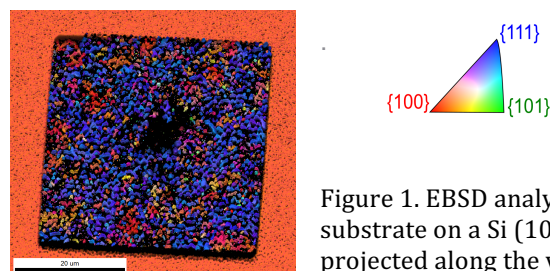


Figure 1. EBSD analysis of the Ge epitaxy layer on a SiO_2 /MIC-Ge square substrate on a Si (100) wafer. The normal of the Ge crystallites is shown projected along the vertical direction.

MERCREDI 4 OCTOBRE

Mercredi 4 octobre		
9h-11h15		
Axe 7 : Nouveaux matériaux semi-conducteurs (oxydes, organiques) et nouveaux systèmes 2D		
Mathieu Jamet, Holger Vach, Dominique Vignaud		
9h - 9h30	Abdelkarim Ouergui (C2N)	Hétérostructures à base de matériaux bidimensionnels
9h30 - 9h45	Roberto Sant (Institut Néel)	Synchrotron X-ray exploration of growth and structure in 2D dichalcogenides
9h45 - 10h	Carlos Alvarez	Study of 2D materials at van der Waals interface
10h - 10h30	Hamid Oughaddou	Silicene : a new 2D material
10h30 - 10h45	Fatme Jurdali	Formation of silicene and germanene nanosheets on graphite: combined theoretical and experimental verifications
10h45 - 11h15	Sanjay Mathur	Phase and Morphology Engineering of Plasma CVD Grown Hexagonal Boron Nitride (h-BN)
11h15-11h45 : PAUSE CAFÉ		
11h45-12h30		
Axe 8 : Nanofil 1		
Sébastien Plissard		
11h45 - 12h15	Maria Tchernycheva	GaN nanowires grown on graphene substrates
12h15 - 12h30	Vincent Sallet	ZnO nanowire facets transformation induced by Ga doping
12h30-14h : DÉJEUNER		
14h-15h15		
Axe 8 : Nanofil 1		
Sébastien Plissard		
14h - 14h30	Gilles Patriarche	Observation in-situ dans un microscope électronique à transmission de la croissance par Epitaxie par Jets Moléculaires de nanostructures de semi-conducteurs III-V
14h30 - 15h	Mojra Hocevar	AXIAL InGaAs/GaAs NANOWIRE HETEROSTRUCTURES : GROWTH AND STRAIN DISTRIBUTION
15h - 15h15	Edith Bellet-Amalric	Croissance et sublimation de nanofils: boîtes quantiques CdTe dans ZnTe
15h15 - 15h45 : PAUSE CAFÉ		
15h45 - 16h45		
Axe 1 : Modélisation et couplage entre théorie et expérience		
Pierre Müller, Olivier Pierre-Louis, Laurent Pizzagalli		
15h45 - 16h15	Cédric Mastail	Coupling Approach Towards a Multiscale modelling of the growth hard Coatings (Ti-Al-N) thin film using the kinetic Monte - Carlo approaches DFT Calculations
16h15 - 16h45	Olivier Pierre-Louis	Two stories on kinetic roughening: non-equilibrium cluster diffusion and interface collisions
16h45 - 17h : PAUSE		
17h-19h : SESSION POSTER 2		

Axe 7 : Nouveaux matériaux semiconducteurs (oxydes, organiques) et nouveaux systèmes 2D

Mathieu Jamet, Holger Vach, Dominique Vignaud

Mercredi 9h – 9h30

Hétérostructures à base de matériaux bidimensionnels

Abdelkarim Ouerghi

Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, C2N – Marcoussis

L'obtention de couches monoatomiques de graphène a permis de mettre en évidence une grande variété de nouvelles propriétés physiques, ces dernières présentant un fort intérêt tant pour le domaine de la recherche fondamentale que pour le développement de nouvelles applications. Cette découverte a ouvert la possibilité d'étudier une grande variété de matériaux lamellaires sous forme bidimensionnelle (où des couches covalentes typiquement formées d'un ou deux types d'atomes sont liées entre elles par des liaisons de Van der Waals), tels que les dichalcogénures semiconducteurs (MX_2). Il a ainsi été démontré que la bande interdite de ces matériaux dépend du nombre de couches (aussi bien son énergie, que sa nature directe ou indirecte). Dans cet exposé, je présenterai nos récents résultats sur les propriétés électroniques d'hétéro-structures VdW à bases de Matériaux 2D (MoS_2 , GaSe) /Graphène.

Mercredi 9h30 – 9h45

Synchrotron X-ray exploration of growth and structure in 2D dichalcogenides

R. Sant, S. Lisi, A. Marty, M. Jamet, J. Coraux, G. Renaud

Institut Néel (CNRS), Grenoble

Few-layers transition metal dichalcogenides (TMDCs) have emerged recently in the 2D materials scenario since they exhibit many novel fundamental properties with high potential impact in nanotechnology such as direct band gap and valley polarization. However, the growth of crystalline epitaxial layers over large surfaces in view of large-scale electronic-grade quality is still a challenge. As in the case of graphene, an in-depth study of the growth mechanisms is expected to solve these issues. We aim to explore the epitaxial processes which lead to the formation of large crystalline TMDC islands, for the first time owing to *in-situ* diagnostics enabled by state-of-the-art synchrotron X-ray surface diffraction. Thanks to this technique, high resolution characterization can be performed down to the single layer level, moreover real time during growth or thermal treatments. For this purpose we used the INS2 instrument installed at the BM32 CRG/IF beamline at ESRF. We accordingly investigate and analyze structural features having key influence over the (opto)electronic properties, noteworthy strain in three dimensions, mosaic spread, domain size, superstructures, and thickness. In this framework we present the specificities of the INS2 instrument and the first results obtained from our investigations on some 2D TMDC systems: the formation of a PtSe_2 2D layer by selenization and thermal annealing of a $\text{Pt}(111)$ surface, and the *in situ* growth of $\text{MoS}_2/\text{Au}(111)$ obtained by molecular beam epitaxy (MBE) in H_2S gas atmosphere.

Mercredi 9h45 – 10h

Study of 2D materials at van der Waals interface

C. Alvarez¹, M. T. Dau², P. Pochet¹, A. Marty², C. Vergaud², H. Le Poche³, M. Jamet² and H. Okuno¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, INAC-MEM, 38000 Grenoble, France

²Univ. Grenoble Alpes, CEA, CNRS, Grenoble INP, INAC-Spintec, 38000 Grenoble, France

³Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38000 Grenoble, France

Two dimensional (2D) materials are the fundamental building blocks to construct novel van der Waals (vdW) heterostructures. As the 2D materials are only a few atoms thick, the atomic structure, presence of defects, and interface between the 2D materials will strongly dictate the resulting materials properties [1]. For example, it has been shown that stacking angle between MoS₂ and graphene changes the band gap of the MoS₂ layer [2]. Thus, studying the interaction at the interface between different 2D materials is needed to understand the resulting properties from the vdW heterostructures. Here, we present a study of the interaction at the interface between MoSe₂ and graphene, and the influence it has on growth and defects using low voltage aberration corrected transmission electron microscopy (LVAC-TEM).

The vdW heterostructures are fabricated by direct growth of 1 monolayer (ML) of MoSe₂ on 1 ML graphene, thereby preserving an ideal vdW interface between the two layers. The MoSe₂ and graphene are grown by molecular beam epitaxy (MBE) and by chemical vapor deposition (CVD), respectively. In the as grown film, we identified a preferential orientation in the vdW stacking of 2° and 27°, and high density of inversion domain boundaries (IDB).

The MoSe₂/graphene vdW heterostructure is investigated by in situ electron irradiation experiments to understand the formation of defects in MoSe₂ and their effect on the heterostructure. Different line defects are observed during the electron irradiation for the first time. Three different Se vacancy line (VL) defects are identified as single, double and triple VL defects from comparison with structure simulation by density functional theory. We observe the movement of the MoSe₂ layer independently on graphene, which remains stationary, during the formation of these VL defects. To separate the signals of graphene and MoSe₂, fast Fourier transform based image filtering is used to follow their dynamics independently during the formation of VL defects in MoSe₂.

[1] Novoselov, K. S, et al. Science, 353 (2016), aac9439.

[2] Jin, W., et al. Phys. Rev. B, 92 (2015), 201409.

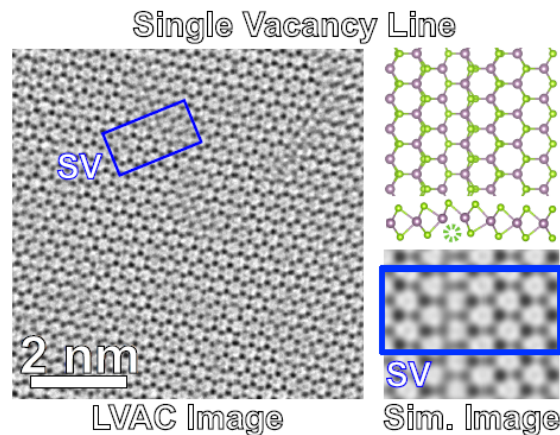


Figure 1: Single vacancy line defect in MoSe₂ shown in low voltage aberration corrected TEM image, with corresponding DFT calculated atomic model and simulated TEM image. Blue box inset in LVAC TEM image is a simulated image of single vacancy line defect overlaid onto the matching defect.

Mercredi 10h – 10h30

Silicene : a new 2D material

Hanna Enriquez, Kh. Quertite, R. Tchalala, S. Saddedine, A. Bendounane, A. Mayne, G. Dujardin, K. Lasri, A. Kara, N. Trcera and H. Oughaddou,
Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay, ISMO-CNRS, Université Paris-Sud, Orsay
Département de physique, Université de Cergy-Pontoise, Cergy-Pontoise

Silicene resembles graphene in many respects: It is practically a two-dimensional material, ordered in a honeycomb lattice and presents a Dirac cone band structure at the vicinity of the Fermi energy. Electronically the main difference between carbon and silicon is stronger preference of sp³ over sp² in silicon. This explains the buckling in silicene, and it leads to an expectation that silicene cannot exist as a stand-alone material, unlike graphene.

In this presentation I will present the progress of silicene growth on different substrates.

H. Oughaddou et al. « Silicene, a promising new 2D material »
Progress in Surface Science 90 (2015) 46–83

Mercredi 10h30 – 10h45

Formation of silicene and germanene nanosheets on graphite: combined theoretical and experimental verifications

Fatme Jardali¹, Paola Castrucci², Luca Persichetti³, Isabelle Berbezier⁴, Maurizio De Crescenzi², Christophe Lechner⁵, Jejune Park¹, Marco Abbarchi⁴, Antoine Ronda⁴, Filippo Fabbri⁶, Tiziano Delise², Manuela Scarselli², Matteo Salvato², Sara Pascale⁷, Roberto Francini⁸, Anna Sgarlata², Adalberto Balzarotti², and Holger Vach¹

¹ LPICM-CNRS UMR7647, Ecole polytechnique, Université Paris-Saclay, Palaiseau, France

² Dipartimento di Fisica, Università di Roma "Tor Vergata", Roma, Italy

³ Department of Materials, ETH Zurich, Hönggerberggring 64, Zürich, Switzerland

⁴ CNRS, Aix-Marseille Université, IM2NP, UMR 7334, Marseille, France

⁵ EDF R&D, Department Materials and Mechanics of Components (MMC), Moret-sur-Loing, France

⁶ IMEM-CNR, Parco Area delle Scienze, 43100 Parma, Italy; Present Address : Center for Nanotechnology Innovation @NEST, Istituto Italiano di Tecnologia, 56127 Pisa, Italy

⁷ Consorzio di Ricerca Hypatia, c/o Italian Space Agency, 00133 Roma, Italy

⁸ Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Roma "Tor Vergata", 00133 Roma, Italy

Our economy consistently pushes for the development of revolutionary materials to meet our ever-increasing technological demands. In this context, we have undertaken in-depth theoretical and experimental studies on the growth of a new allotropic form of silicon and germanium: a single layer of silicon or germanium atoms only one atom thick and packed in a hexagonal lattice that closely resembles the lattice of graphene, namely silicene and germanene. In order to rule out any intermixing between Si or Ge atoms and the underneath substrate atoms, as it was the case for metallic substrates and was confirmed by our molecular dynamics simulations, and to maintain their promising features to be new Dirac materials, we have performed our depositions on a chemically inert graphite substrate. Several silicene and germanene areas are obtained by the deposition of Si and Ge on an inert HOPG substrate at room temperature and under ultrahigh vacuum conditions. One of our crucial findings is that the silicene and germanene monolayers interact with the graphite substrate *via* van der Waals forces only. The atomic force microscopy and scanning tunneling microscopy images support the formation of quasi-continuous 2D silicon and germanium layers with small buckling, leaving some areas of HOPG uncovered together with the formation of small 3D Si and Ge clusters.

Our *ab initio* molecular dynamics simulations predict the thermal stability of a perfect silicene monolayer on a HOPG surface at room temperature and 350 °C, highlighting the essential role of van der Waals forces

bonding silicene or germanene to the surface. The van der Waals interaction is strong enough to stabilize the deposited monolayers even above room temperature, but weak enough to prevent any alloying between Si or Ge and C atoms. Consequently, the outstanding electronic properties of silicene and germanene, such as Dirac cones, are preserved even after their deposition on the graphite surface. The simulations of the growth mechanism of the silicene sheet on HOPG at room temperature show how the silicon hexagons spontaneously form and remain at a vertical distance corresponding to the van der Waals distance above the surface. HOPG has been found to be a good candidate to form silicene and germanene layers with remarkable electronic properties very different from any other known silicon and germanium-based nanostructures. We believe that we have succeeded in observing these small, but true, silicene and germanene areas because of a rather slow deposition rate of Si and Ge. We are confident that in the future by using more sophisticated growth methods, larger areas of these ultrathin films can be obtained which can be detached and transferred for device applications.

Mercredi 10h45 – 11h15

Phase and Morphology Engineering of Plasma CVD Grown Hexagonal Boron Nitride (*h*-BN)

Daniel Stadler, Meenal Deo, Thomas Fischer and Sanjay Mathur

Chair, Inorganic and Materials Chemistry

University of Cologne, Greinstrasse 6, D-50939 Cologne, Germany

Two-dimensional materials, namely graphene, MoS₂ and hexagonal boron nitride are of substantial interest, due to their interesting intrinsic properties (e.g., non-symmetric conductivity) and the possibility of large-scale processability. However, the preparation of these materials often requires metal templates, such as Cu, Pt, Ir and Pd that limits the scale-up procedures. In case of *h*-BN, theoretical calculations already predicted an applicability as oxygen reduction reaction (ORR) catalyst, emphasized by first experimental results. Unfortunately, sample preparation for these investigations contains complicated exfoliation processes and only give rise to physically adsorbed layers, which are not as stable as chemisorbed structures or need the already mentioned metallic interlayers. In this context, we are developing molecule-based CVD procedures to deposit *h*-BN both in pristine and metal-doped form to obtain platinum group metal-free ORR catalysts needed for clean and sustainable fuel cells. Molecule-based plasma CVD, *h*-BN formation on <111>-Si is achieved and epitaxial problems, like formation of *c*-BN (preferred orientation is <111>) are drastically suppressed, opening a variety of possible post process applications. The as-prepared films showed high crystallinity (XRD and C-AFM) and an average roughness significantly below 1 nm. Furthermore, the distance between the observed BN triangles is in excellent agreement with theoretical interlayer distances of 0.3 nm. To the best of our knowledge, such appearances are only reported for thermal CVD processes on metallic substrates, limited to epitaxial growth.

Moreover, nanoscopic metal and metal oxide nanostructures with hetero-contacts and phase boundaries offer unique platform for designing materials architectures for energy harvesting applications. As viable alternative to water electrolysis, photoelectrochemical (PEC) water splitting has emerged as a competitive technology being capable of converting solar energy directly into chemical energy using stable and efficient photocatalysts for solar hydrogen production. This talk will present our recent work on 2D materials and heterostructures thereof.

Axe 8 : Nanofils

Sébastien Plissard

Mercredi 11h45 – 12h15

GaN nanowires grown on graphene substrates

M. Tchernycheva, L. Largeau, M. Morassi, V. Kumaresan, N. Guan, L. Mancini, A. Babichev, A. Madouri, F. Glas, F. Oehler, A. Cavanna, F. H. Julien, N. Gogneau and J.-C. Harmand
Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N), UMR9001 CNRS site Orsay & Marcoussis, Université Paris-Sud, Université Paris-Saclay, France

There is a strong interest in exploring alternative substrates for the growth of high quality GaN nanowires (NWs) both for fundamental studies and for device applications. In this work, epitaxial growth of GaN NWs on CVD-graphene transferred to amorphous substrates is demonstrated using molecular beam epitaxy (MBE) without any catalyst or intermediate layer [1]. The NWs grow with a c-axis perpendicular to the substrate and a unique epitaxial relationship is observed with the directions of the wurtzite GaN lattice parallel to the directions of the carbon zigzag chains. The GaN NWs are defect-free as evidenced by structural analyses and they present good optical properties. NW photoluminescence spectra are dominated by the excitonic D^0X_A line with a linewidth going below 1 meV, whereas the 3.45 eV line, usually attributed to inversion domain boundaries, is not observed contrary to GaN NWs grown on standard AlN/Si substrates. Importantly, NW growth under optimized conditions is highly selective with respect to SiO_2 . This property allows us to propose an alternative approach for selective area growth of nitride NWs by plasma-assisted MBE. We apply electron beam lithography to nanopattern graphene sheets on SiO_2 and to promote the NW growth at predefined positions.

[1] V. Kumaresan et al., NanoLett 2016 doi: 10.1021/acs.nanolett.6b01453

Mercredi 12h15 – 12h30

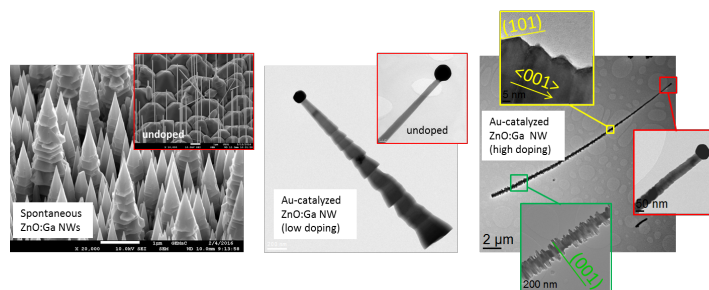
ZnO nanowire facets transformation induced by Ga doping

V. Sallet, S. Hassani, C. Sartet, C. Vilar, A. Lusson, P. Galtier
GEMAC, CNRS – Université de Versailles St Quentin en Yvelines, Université Paris-Saclay, 45 avenue des Etats-Unis, 78035 Versailles Cedex, France

ZnO nanowires typically grow along (0001) C-axis and exhibit (10-10) M-facets with hexagonal morphology. This ability of non-centrosymmetric wurzite semiconductors such as GaN or ZnO to show spontaneous 1D growth without any catalyst process is due to several phenomena, among them, the anisotropy of polar and non-polar surface energies. However, previous works show that growth direction, morphology and facets orientation can be tuned by adding a dopant in the source material (in CVD processes), or metal ions in the solution (e.g. hydrothermal growth).

In this work, the effect of gallium doping on the MOCVD growth mechanisms of ZnO nanowires is presented. Diethylzinc (DEZn) and trimethylgallium (TMGa) were used as the zinc and the dopant source respectively. Growths have been performed either at 850-900°C using nitrous oxide (N_2O) as oxygen source, or at 500°C using O_2 . Ga-doped and undoped ZnO nanowires were realized following spontaneous (catalyst-free) or gold-assisted (so-called vapor-liquid-solid VLS) processes. ZnO/ZnO:Ga core-shell structures and reference layers were also synthesized. By using scanning electron and transmission electron microscopies (SEM, TEM), a strong influence is observed on all kinds of ZnO structures, as illustrated in the figure below. Gallium atoms on the surface modify the growth along C-axis with a drastic change in the lateral facets orientation. TEM analysis shows an evolution of the roughness of the M-plane nanowire facets with, progressively, the appearance of (201), (101) and (001) surfaces. All these planes traduce a rotation of the initial M-plane surface towards the $\langle 001 \rangle$ direction : (100) M plane $\Rightarrow$ (201) (angle 15°) $\Rightarrow$ (101) (28°) $\Rightarrow$ (001) C (90°).

In addition, photoluminescence spectra clearly show an increase of the donor bound exciton emission at 3.359 eV, assigned to Ga incorporated impurities. The mechanisms at the origin of such transformation are discussed and compared with the "usual" surfactant effects. It is believed that Ga adatoms replace Zn atoms, change the surface energy and/or passivate Zn incorporation sites or specific planes.



Mercredi 14h – 14h30

Observation in-situ dans un microscope électronique à transmission de la croissance par Epitaxie par Jets Moléculaires de nanostructures de semiconducteurs III-V

Gilles Patriarche¹, Jean-Christophe Harmand¹, Frank Glas¹, Ludovic Largeau¹, Laurent Travers¹, Yannick Ollivier¹, Ileana Florea², Jean-Luc Maurice², Federico Panciera³.

¹ *Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, CNRS, Université Paris-Sud, Université Paris-Saclay, C2N – Marcoussis, 91460 Marcoussis, France*

² *LPICM, Ecole polytechnique, CNRS, Université Paris-Saclay, 91128 Palaiseau, France*

³ *Centre for BioImaging Sciences, Department of Biological Sciences, National University of Singapore, Singapore 117543*

Le projet Nanomax permet d'observer la croissance de nanostructures jusqu'à l'échelle atomique dans un microscope électronique en transmission. Il est prévu d'étudier en temps réel la croissance de nombreuses nanostructures : nanofils de semiconducteur III-V ou de silicium/germanium mais également de nanotubes de carbone. La croissance est réalisée in-situ dans un microscope électronique en transmission Titan ETEM équipé d'un correcteur d'aberration géométrique sur l'image. Le microscope ETEM a été modifié afin de pouvoir disposer d'une qualité de vide suffisante pour permettre la croissance en épitaxie par jets moléculaires (EJM). Par ailleurs, la vitesse de pompage dans la chambre objet du microscope est assez importante pour réaliser des croissances par CVD et UHV-CVD de nanotubes de carbone ou de nanofils/nanostructures d'éléments IV. Nous avons mis au point pour ce microscope des microcellules à effusion pour éléments III et éléments V permettant de réaliser la croissance in-situ de nanofils de semiconducteur III-V (en particulier GaAs, InAs et GaSb). Les sources sont très collimatées afin d'éviter la contamination de la chambre du microscope, elles émettent sans perturber le fonctionnement du microscope. Nous montrons qu'il est possible d'étudier la croissance par EJM de nanofils de semiconducteur in-situ dans le microscope à une résolution atomique.

Les premières études nous ont permis de mettre en évidence l'influence de l'angle de contact du catalyseur sur la phase cristalline des nanofils. L'observation de la croissance à l'échelle atomique en temps réel permet d'accéder directement à la statistique de nucléation des marches et à leur vitesse de déplacement en fonction des conditions de croissance. En modifiant le rapport des flux III/V, on observe en direct le changement de volume du catalyseur gallium et la modification de l'angle de mouillage de la goutte, ce qui entraîne un changement de la phase cristalline du nanofils (hexagonale vs cubique).

Le projet Nanomax est développé dans le cadre de l'Equipex « TEMPOS ».

Mercredi 14h30 – 15h

Axial InGaAs/GaAs nanowire heterostructures : growth and strain distribution

Daria Beznasyuk¹, Eric Robin², Martien Den Hertog¹, Marcel Verheijen^{3,4}, Julien Claudon², Moïra Hocevar¹

1: University Grenoble Alpes, CNRS-Institut Néel, 38000 Grenoble, France

2: University Grenoble Alpes, CEA, INAC-Phelics, 38000 Grenoble, France

3: Department of Applied Physics, Eindhoven University of Technology, 5600 MB Eindhoven, the Netherlands

4: Philips Innovation Services Eindhoven, High Tech Campus 11, 5656AE Eindhoven, the Netherlands

Combining direct bandgap III-V materials with Si is of great interest for optoelectronics. However, two-dimensional epitaxy of III-V materials is strongly limited due to the lattice-mismatch of the involved materials. Thanks to their large surface-to-volume ratio, nanowires can efficiently release the strain caused by lattice mismatch, not only at the nanowire/substrate interface [1] but also at material interfaces along the nanowire axis [2]. In theory, dislocation-free longitudinal heterostructures with up to 7,1 % of lattice mismatch (InAs/GaAs) can be achieved in nanowires with a diameter smaller than 40 nm [3]. Though the growth of straight InAs-on-GaAs nanowire heterostructures is challenging [4,5], several research groups recently obtained promising results in this direction [6,7,8].

In this work, we report on the Au-assisted molecular beam epitaxy growth of axial InAs-on-GaAs nanowire heterostructures with sub-critical diameters (below 40 nm) on Si substrates [9]. First, the growth

parameters of the GaAs nanowire segment were optimized to achieve a pure wurtzite crystal structure, which favors vertical growth of InAs on GaAs nanowires [6]. Then, we developed a two-step procedure to stabilize the Au nanoparticle during Ga to In flux switch [8]. Finally, the vertical yield of InAs-on-GaAs nanowires was further increased up to 90% after growth temperature and V/III ratio optimizations. Below 500°C no axial growth was found, while at 610°C nanowires tend to kink.

The nanowires chemical composition was investigated X-ray energy-dispersive spectroscopy in a transmission electron microscope (TEM). We measured the top segment composition to be $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ where x evolves from 0.85 at the GaAs/InAs interface up to 1 in the region right below the Au nanoparticle.

Finally, we carefully investigated the interface crystal structure by TEM along two crystalline orientations to evaluate the strain distribution at the $\text{In}_{0.85}\text{Ga}_{0.15}\text{As}/\text{GaAs}$ interface. We combined high-resolution scanning TEM together with the image processing technique of Geometrical Phase Analysis. We observed that a region of 20 nm-long around the interface is strained and that the crystalline planes bend in this region close the side walls. The interface is free of dislocations despite a 6% lattice mismatch, revealing full elastic relaxation.

- [1] Cirlin, G.E., et. al., *Physica Status Solidi RRL*, 3(4), 112-114, 2009.
- [2] Ercolani, D., et. al., *Nanotechnology*, 20(50), 505605, 2009.
- [3] Glas, F., *Physical Review B* 74(12), 121302., 2006.
- [7] Grandjean, N., et. al., *Journal of crystal growth* 134(1-2), 51-62, 1993.
- [4] Paladugu, M., et. al., *Small*, 3(11), pp.1873-1877., 2007
- [5] Paladugu, M., et. al., *Applied Physics Letters*, 93(10), 101911, 2008.
- [6] Messing, M.E., et. al., *Nano letters*, 11(9), 3899-3905., 2011.
- [7] Scarpellini, D., et. al., *Nano letters*, 15(6), 3677-3683., 2015.
- [8] Zannier, V., et. al., *Nano Letters*, 16(11), 7183-7190, 2016.
- [9] Beznasyuk et al. *Nanotechnology*, 28, 365602, 2017.

Mercredi 15h – 15h15

Croissance et sublimation de nanofils: boîtes quantiques CdTe dans ZnTe

M. Orrù,^{1,2} E. Robin,² M. Den Hertog,¹ Y. Genuit,¹ R. André,¹ J. Cibert,¹ and E. Bellet-Amalric²

1: Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Institut NEEL, Grenoble, France

2: Univ. Grenoble Alpes, CEA, INAC, Grenoble, France

Lors de la croissance de nanofils de semiconducteurs en épitaxie par jets moléculaires à partir d'un catalyseur (nanoparticule ou gouttelette d'or), la sublimation du composé et l'évaporation des éléments à partir de la nanoparticule d'or peuvent être importants. C'est le cas de CdTe : la vitesse de croissance dépend fortement de la température et elle est réduite au-dessus d'une température limite. En retour, cela permet d'insérer des boîtes quantiques CdTe dans des nanofils ZnTe avec des interfaces abruptes; de plus, on minimise ainsi la formation d'agrégats de CdTe par croissance latérale sur les facettes du nanofil, ceux-ci rendant les spectres de photoluminescence difficiles à exploiter. Les résultats obtenus par reconstruction 3D quantitative utilisant l'EDX (energy dispersive x-ray spectrometry, Fig. 1a-b) ou l'analyse GPA (geometrical phase analysis) des images de microscopie électronique en transmission, sont ajustés par un modèle de croissance intégrant ces effets (Fig. 1c). Par ailleurs, la faible stabilité de CdTe sous ces conditions de croissance permet une éventuelle redissolution du CdTe dans la nanoparticule, lui conférant une forme de lampe (ou de gouttelette pendante, Fig. 1d) que nous attribuons à l'effet Kirkendall : la diffusion du Cd dans la nanoparticule induit un déplacement de lacunes et la forme finale est stabilisée par l'énergie de surface (effet Kirkendall inverse).

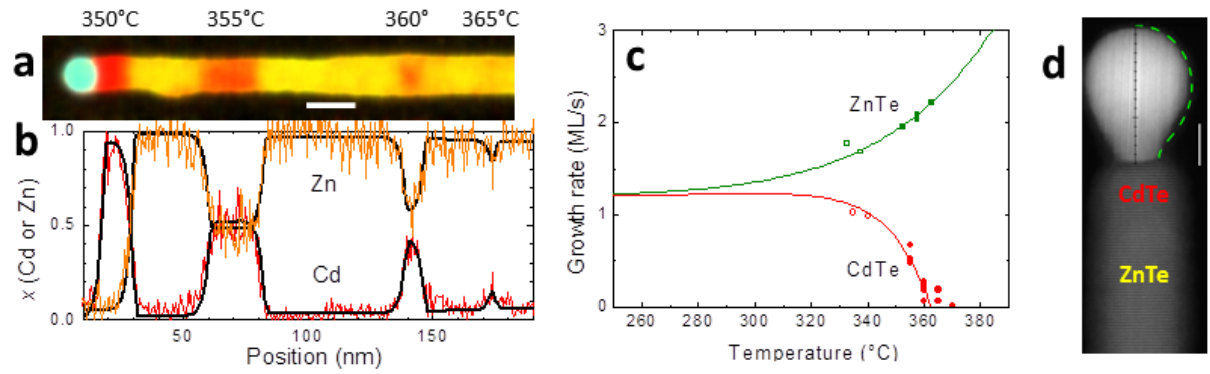


Figure 1: (a) cartographie EDX d'un nanofil ZnTe contenant des insertions CdTe réalisées avec le même temps de croissance à des températures différentes ; (b) profil EDX du Cd et du Zn le long du nanofil précédent ; (c) vitesses de croissance de ZnTe et CdTe, en fonction de la température (symboles : mesures ; lignes : calcul) ; (d) forme de la nanoparticule d'or résultant de la sublimation de CdTe en fin de croissance

Axe 1 : Modélisation et couplage entre théorie et expérience

Pierre Müller, Olivier Pierre-Louis, Laurent Pizzagalli

Mercredi 15h45 – 16h15

Coupling Approach Towards a Multiscale modelling of the growth hard Coatings (Ti-Al-N) thin film using the Kinetic Monte - Carlo approaches DFT Calculations

C. Mastail, F. Nita, M. David, A. Michel, G. Abadias

Institut Pprime, CNRS-Université de Poitiers-ENSMA, France

Transition metal nitride (TMN) exhibits a unique combination of metallic, ionic and covalent bonding exploited in semiconductor. Depending on the deposition conditions, ternary TMN thin films may be synthesized with different morphological and microstructural properties. Predictive design of these materials can be achieved by using multi-scale computational approaches to mimic real deposition conditions and gain insights on thin film evolutions during growth. The accurate description of growth kinetics and energetics remains a challenging task, especially for magnetron sputtering for which particle bombardment may alter the resulting microstructures. To predict the growth evolution during sputter-deposition of ternary TiAlN films, we have performed kinetic Monte Carlo (kMC) simulations using a 3D rigid lattice model. The influence of main growth parameters on the resulting microstructure will be presented and discussed.

Mercredi 16h15 – 16h45

Two stories on kinetic roughening: non-equilibrium cluster diffusion and interface collisions

Y. Saito¹, M. Dufay³, F. A. Reis², O. Pierre-Louis³

¹ *Keio Univ., Yokohama, Japan*

² *Univ. Fed. Fluminense, Niteroi, Rio, Brazil*

³ *Institut Lumière Matière UMR5386 Université de Lyon 69622 Villeurbanne, France*

Kinetic roughening is the process by which interfaces develop a self-affine roughness in non-equilibrium systems. The interfaces can represent domain walls, the surface of a growing crystal, the edge of a bacterial colony, etc. We present two consequences of non-equilibrium kinetic roughening in two dimensions.

Our first story reports on the non-equilibrium diffusion of two-dimensional clusters. These clusters can represent e.g. an Ising droplet driven by a field, a monolayer island growing on a facet during crystal growth or dissolution, or an expanding bacterial colony. We find that the mean square displacement of the center of mass of clusters exhibit a transition from superdiffusive to subdiffusive diffusion during growth, with exponents controlled by the kinetic roughening of the cluster edge.

The second story focuses on the collision between growth fronts. We here aim to model e.g. the process by which grain boundaries form in graphene, or by which different expanding bacterial films collide. We claim that this process can be seen as non-trivial generalization of first passage processes. We show that the spatio-temporal roughness of the collision is controlled by the roughness accumulated before the collision. The distribution of times of collision, and the roughness of interface after collision are shown to obey universal distributions which combine linearly the distributions of the two fronts before collision.

References

1. [Non-equilibrium cluster diffusion during growth and evaporation in two dimensions](#) (editor's suggestion) Y. Saito, M. Dufay, O. Pierre-Louis, Phys. Rev. Lett. 108 245504 (2012)
2. Non-equilibrium interface collisions, F.A. Reis, O. Pierre-Louis, preprint (2016)

Session Poster : mercredi

MOCVD growth and optical characterization of ZnTe/ZnMgTe core-shell nanostructures

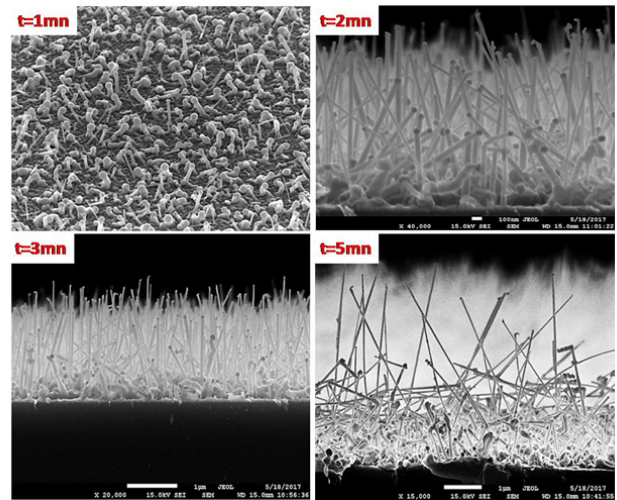
F. Khalfallah, G Amiri, A. Lusson and V. Sallet

Groupe d'Etude de la Matière Condensée (GEMaC)

CNRS-Université de Versailles St Quentin, 45 av. des Etats Unis, 78035 Versailles, France

ZnTe is a direct band-gap semiconductor, 2.26 eV at room temperature. It is suitable for various optoelectronic devices such as pure-green light-emitting diodes, green laser diodes, and UV-green photodetectors. For realizing high-efficiency light-emitting devices based on ZnTe nanowires (NW), an appropriate coating shell material must be used to passivate the NW surface. It has been demonstrated that ternary $\text{Zn}_{(1-x)}\text{Mg}_x\text{Te}$ alloy is a possible candidate for the shell, since it has a wider band-gap energy than ZnTe. A magnesium concentration of 10% should improve the optical properties of the core-shell nanostructures.

In this context, ZnTe NWs and ZnMgTe/ZnTe core-shell nanostructures were synthesized by MOCVD at atmospheric pressure using a vapor-liquid-solid (VLS) gold-catalyzed method. The morphologies of the structures have been investigated as a function of growth temperature, growth time, gold droplet size and II/VI gases pressure ratio. Scanning electron microscopy (SEM) combined with EDS system were used to characterize the crystal structure and the chemical composition of the NWs. Photoluminescence (PL) measurements at 4K were carried out on both 2D ZnMgTe/ZnTe layers and 1D ZnMgTe/ZnTe core-shell nanostructures to study the effect of the passivation and the shell layer thickness.



SEM cross-section images from ZnTe nanowires grown on GaAs substrate for different time growth.

For 2D layers, PL results revealed that for thin ZnTe layer (250 nm), the near band edge (NBE) emission line is completely missing while for a thick ZnTe layer (2 μm) the NBE luminescence can be observed. This could be explained by the fact that the free carriers are lost at the surface due to non-radiative recombination, and that phenomenon dominates in the case of very thin structures. However, when coated with ZnMgTe shell, the thin ZnTe layers (250 nm) show an intense emission line at 2.36 eV, i.e. in the NBE emission region of ZnTe. Therefore, the ZnMgTe capping layer has efficiently passivated surface states at the origin of non-radiative recombination of photo-created carriers. Regarding to ZnTe NWs and ZnMgTe/ZnTe core/shell nanostructures, no luminescence have been detected, which may be explained by the diffusion of gold in the ZnTe nanowire during the VLS growth process, leading to non-radiative deep level defects in the material.

Investigating the composition of GaAsP nanowires on Si (111) for tandem solar cell applications

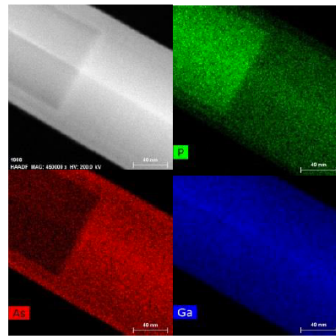
Romarc de Lépinau^{1,2}, Hung-Ling Chen², Gilles Patriarche², Andrea Scaccabarozzi², Stéphane Collin², Andrea Cattoni² and Fabrice Oehler²

1 Institut Photovoltaïque d'Ile-de-France (IPVF), 8 Rue de la Renaissance, 92160 Antony, France

2 Centre for Nanoscience and Nanotechnology, CNRS, University Paris-Sud/Paris-Saclay, Marcoussis, 91460 Marcoussis, France

To overcome the efficiency limitation of Si single junction solar cells, a possible pathway is to make a double-junction solar cell by direct epitaxy of III/V on Si(111). Simulations show that adding a top junction with energy gap of 1.7 eV, would result in efficiencies exceeding 38% at AM1.5G. Among III-V semiconductors, GaAsP is a possible material candidate with the required energy gap.

We have grown self-catalyzed GaAsP nanowires on a patterned Si (111) substrate in a solid-source Molecular Beam Epitaxy (MBE). We varied the ratio between arsenic and phosphorus fluxes in order to promote different GaAsP alloy compositions. Structural and chemical analysis (TEM-EDX) coupled with low temperature cathodoluminescence mapping confirmed that we could obtain different compositions along the growth direction and reach the 1.7eV bandgap. We observe the presence of an As-rich parasitic shell which grows concurrently with the VLS core. We find that the actual alloy composition of the shell depends on that of the core on which it grows epitaxially. Such structure may show quantum confinement in the shell, which has implications for the future developments of tandem solar cells made of GaAsP nanowires on Si.



TEM-EDX map of a GaAsP nanowire showing several core-shell superposed structures of different alloy composition

Croissance catalysée de nanofils de GaAs sur substrat Si(111)

H. Hijazi¹, G. Monier¹, C. Leroux^{2,3}, V. Dubrovskii⁴⁻⁶, E. Gil^{1,4}, G. Avit¹, D. Castellucci^{1,2}, L. Bideux¹, A. Trassoudaine¹, C. Robert-Goumet¹ and Y. André^{1,4}

1 Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France.

2 Université du Sud Toulon-Var, IM2NP, Bât.R, B.P.20132, 83957, La Garde Cedex, France

3 CNRS, UMR 6242, 83957, La Garde Cedex, France

4 ITMO University, Kronverkskiy prospekt 49, 197101 St. Petersburg, Russia

5 St. Petersburg Academic University, Khlopina 8/3, 194021 St. Petersburg, Russia

6 Ioffe Physical Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, Politekhnic

La forte demande d'intégration de semi-conducteurs III-V sur la plate-forme de silicium par les industriels a initié plusieurs études de croissance de nanofils de GaAs par les procédés MBE (Molecular Beam Epitaxy) et MOVPE (Epitaxie en Phase Vapeur aux organométalliques). Nous utilisons la technique HVPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy) qui permet d'atteindre des vitesses de croissance axiales de l'ordre de 170 $\mu\text{m.h}^{-1}$ en régime VLS (Vapor Liquid Solid) [1]. Nous avons récemment démontré la faisabilité de la croissance de nanofils de GaAs par procédé auto-catalysé [2]. Pour augmenter la densité des nanofils, ce travail présente les premiers essais de la croissance de nanofils de GaAs catalysés Au sur substrat de Si(111) par procédé HVPE.

Dans ce contexte, une étude préalable du dépôt dans un bati ultra-vide de métal catalyseur Au a été menée par microscopie électronique à balayage (MEB) afin de contrôler la densité et la taille des gouttelettes d'Au sur la surface. Nous avons étudié l'effet de plusieurs paramètres expérimentaux tels que : la quantité d'Au déposée, le temps et la température de recuit ainsi que l'état de surface des substrats de Si (111). Ensuite, nous avons montré la faisabilité de la croissance de nanofils de GaAs par procédé VLS sur un substrat de Si (111) recouvert de son oxyde natif SiO₂, alors qu'aucune croissance catalysée n'a été observée sur des substrats Si (111) nettoyés chimiquement (figure 1). Afin d'expliquer ces résultats expérimentaux, nous proposons ici un modèle théorique basé sur le calcul de l'énergie de formation d'un

germe de GaAs solide dans la gouttelette d'Au-Si liquide. Ce modèle permet de calculer l'évolution de la différence de potentiel chimique $\Delta\mu_{LS}$ entre le liquide et le solide présents dans une gouttelette de composition Au-Si, en fonction de la concentration en éléments III (Ga) et V (As) à différentes températures de croissance.

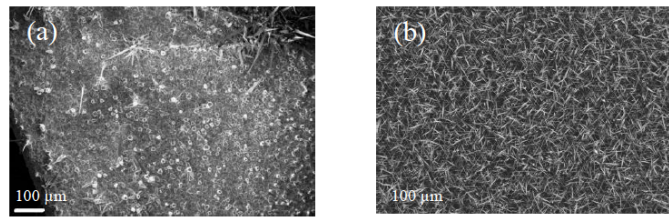


Figure 1. (a) Images MEB montrant l'état de surface après croissance à 988-K pendant 30 minutes sur un substrat de Si(111) nettoyé chimiquement et (b) non nettoyé chimiquement avant la croissance HVPE.

Etude de la croissance tridimensionnelle des III-V sur Silicium par DFT

I. Lucci¹, S. Charbonnier², Y. Ping Wang¹, T. Rohel¹, R. Bernard¹, L. Pedesseau¹, A. Létoublon¹, C. Cornet¹ and P. Turban²

¹ UMR FOTON, CNRS, INSA Rennes, Rennes, F35708, France

² IPR, UMR 6251, CNRS-Université de Rennes I, Campus de Beaulieu 35042 Rennes, France

L'intégration monolithique des semi-conducteurs III-V sur silicium est très prometteuse pour la photonique [1]. Malgré cela, la formation des interfaces III-V sur silicium, des parois d'antiphase et les modes de croissance restent encore mal comprises.

Dans ce travail, la croissance tridimensionnelle du GaP sur Silicium est expliquée dans un cadre thermodynamique. La transformation thermodynamique conduisant à la formation des îlots 3D est décrite par des calculs d'énergie libre [2]. Ces simulations révèlent que le terme d'énergie élastique est négligeable dans les systèmes III-V/Si partiellement relaxés. Les énergies d'interface GaP/Si et les énergies de surface du GaP mais aussi du Si (Fig. 1) sont déterminées par des calculs de type *ab-initio*. La formation des parois d'antiphase est expliquée par la coalescence heterophase d'îlots 3D. (Fig. 2)

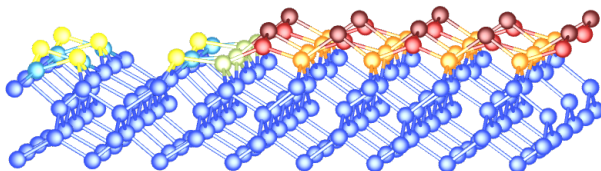


Fig. 1 Reconstruction de la surface Si(001) S_B mono-marche

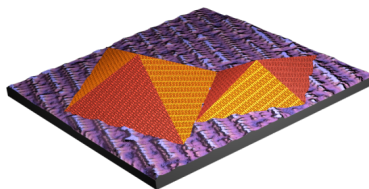


Fig. 2 Modélisation de la coalescence des îlots III-V/Si sur une surface de silicium $35 \times 35 \text{ nm}^2$ double-marche imagée par STM

Ce travail est financé par le projet ANR ANTIPODE (Grant no. 14-CE26- 0014-01) et la Région Bretagne. Les simulations *ab initio* ont été effectuées grâce à une allocation DARI par des ressources HPC du CINES, allocation 2016-[x2016096724] - GENCI (Grand Equipement National de Calcul Intensif).

Optical/structural properties, and ordering studies in $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ alloys grown by MOVPE

S. A. Saïd Hassani, A. Abdelmounaïme, C. Sartet, C. Vilar, G. Amiri, A. Lusson, V. Sallet and P. Galtier

Groupe d'Etude de la Matière Condensée, CNRS-Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, Université Paris-Saclay, 45 avenue des Etats Unis, 78035 Versailles cedex-France.

To study the influence of the growth parameters on optical and structural properties of ZnO based core/shell heterostructures, as well as the ordering in $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ alloys ($0 < x < 0.30$), ZnO vertical nanowires have been first grown by metal-organic-vapor-phase-epitaxy on sapphire substrates. The use of N_2O and diethylzinc DEZn as oxygen and zinc precursors combined with high temperature ($> 600^\circ\text{C}$) led to the spontaneous growth of ZnO nanowires (NWs) on underlying three dimensional islands present at the bottom of each nanowire. Wurtzite ZnO nanowires are grown free of extended defects, along the c axis, and exhibit m-type, non-polar facets. This configuration is favorable to band-gap engineering since Stark effect is not observed when heterostructures are grown on non-polar surfaces, thus leading to efficient optical band-gap recombination. Subsequently, we have grown a series of radial ZnO/ZnMgO core/shell structures with different shell thicknesses and Mg concentrations. For these experiments, we have used oxygen, $(\text{MCp})_2\text{Mg}$ and DEZn as oxygen, magnesium and zinc precursors. In addition, ZnMgO reference layers have been grown in the same run on both c-axis Al_2O_3 and ZnO substrates. The figure below shows a TEM image of ZnO/ZnMgO multi-shells structure with a ZnO core and two ZnO wells of 10 nm surrounded by three ZnMgO barriers of 20 nm. Low temperature photoluminescence spectroscopy and Transmission Electron Microscopy equipped with EDX were used to estimate the Mg concentrations in the shells and layers, which can reach $x=0.2$. Surprisingly, both electron diffraction on the core/shell nanowires and high resolution X-ray diffraction on the reference ZnMgO layers reveal the (001) reflection which is forbidden in a perfect disordered alloy. The appearance of such (001) diffraction suggests that Zn and Mg atoms distribution in the $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ alloy is, at least partially, ordered. Micro-photoluminescence performed on single ZnO/ZnMgO quantum well exhibit excellent luminescence properties with a clear emission of the ZnO quantum well.



Figure: a): electron diffraction pattern and b): bright field TEM image of $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ ($x=0.13$) core/multi-shells.

Defect-free InGaN nanowires on silicon whatever the indium composition

Mohammed Zeghouane 1, Elissa Roche 1, Geoffrey Avit 1, Yamina André 1, Catherine Bougerol 2,3, Joël Leymarie 1, François Médard 1, Benjamin Damilano 4, Evelyne Gil 1, Dominique Castelluci 1 and Agnès Trassoudaine 1

1 Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA, Institut Pascal, Clermont-Ferrand

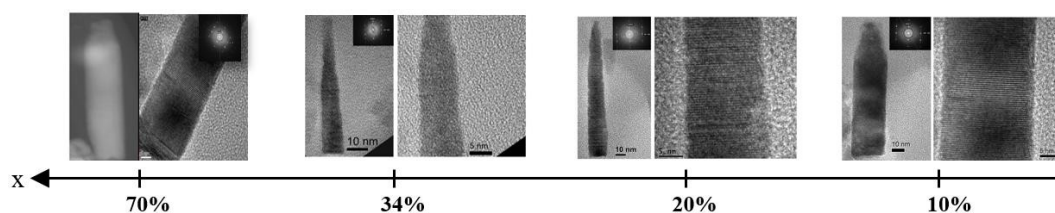
2 Univ. Grenoble Alpes, F-38000 Grenoble, France

3 CNRS, Institut Néel, F-38042 Grenoble, France

4 CRHEA, CNRS, Rue Bernard Gregory, F-06560 Valbonne, France

The growth of defect-free InGaN nanowires on silicon across the entire compositional range has recently been achieved by Hydride Vapor Phase Epitaxy (HVPE). The remaining technological challenges concern the achievement of high efficient optical devices. In this work, we focus on the HVPE synthesis and properties of defect-free InGaN nanowires whatever the indium composition using GaCl and InCl_3 as III-element precursors. The structural and optical properties of the InGaN nanowires are addressed by Transmission Electron Microscopy (TEM) and Photoluminescence (PL) investigations. Local Energy Dispersive X-rays spectroscopy (EDX) measurements reveal an homogenous In incorporation along the entire length of a single wire. Particularly, indium-rich InGaN nanowires exhibiting a pure wurtzite phase

along their entire length are obtained. PL measurements performed on nanowire assemblies showed an exceptional ratio of 30 % between the integrated intensity at 300 K and 20 K for the spectral emission at 580 nm. These results constitute the state-of-the-art of the crystalline phase for such a high indium composition. This appears very promising for the integration of high-indium nanowires in optical components.



Bright-fiel HRTEM images and SAED patterns showing the crystalline quality of InGaN nanowires synthesized at different temperatures. Defect-free cristal obtained for $x > 70\%$

JEUDI 5 OCTOBRE

Atelier : Simulations

Jeudi 9h – 10h30

Introduction to Molecular Dynamics

Holger Vach

Jeudi 10h45 – 12h15

Introduction to Kinetic Monte Carlo

Olivier Pierre-Louis

Jeudi 13h30 – 15h

DFT modelling of surfaces, interfaces and nanostructures

Michele Amato

Jeudi 15h30 – 17h

Multi-scale approaches

Laurent Pizzagalli