



GDR CNRS Pulse



Réunion plénière GDR Pulse et Nanofils

Toulouse

27-31 Octobre 2014





GDR CNRS Pulse



Sponsors

LAAS-CNRS



UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER



Université de Toulouse

MAIRIE DE



TOULOUSE
www.toulouse.fr



Industriels



ANNEALSYS





Programme

Réunion plénière



Toulouse

27-31 octobre 2014

LUNDI 27 octobre 2014

Accueil à partir de 08 : 30

- 09 : 45** **Introduction**
- 09 : 55** **Exposé invité : Laurent Cerutti**, Jean Baptiste Rodriguez, Karine Madiomanana, Andrea Castellano, Eric Tournié
IES, Montpellier – Alcatel/III-V lab, Marcoussis
« Épitaxie par jets moléculaires de semiconducteurs à base d'antimoine sur substrat Si pour la photonique »
- 10 : 40** **A. Arnoult**, Simone Mazzucato, Hélène Carrère, Hajer Makhloufi, Julien Nicolai, Guy Lacoste, Anne Ponchet, Fuccio Cristiano, Xavier Marie, Chantal Fontaine
LAAS, Toulouse – LPCNO, Toulouse - CEMES, Toulouse
GaAsBi, des alliages III-V émergents aux propriétés originales
- 11 : 00** **Pause-café**
- 11 : 30** **Exposé invité : Guillaume Saint-Girons**, Romain Bachelet, Geneviève Grenet, José Penuelas, Lamis Louahadj, Adrian Carretero-Genevrier, Bruno Canut, Mathieu Silly, Fausto Sirotti
INL-ECL, Ecully - RIBER SA, Bezons - Synchrotron SOLEIL, Saint-Aubin
« Catalyse par le strontium de la cristallisation de SrTiO₃ lors des premiers stades de sa croissance sur silicium »
- 12 : 15** I. Razado-Colambo, X. Wallart and **D. Vignaud**
IEMN, Villeneuve d'Ascq
« Graphene growth by Molecular Beam Epitaxy (on SiC) »
- 12 : 35** **F. Chaumeton**, R. Robles, D. Martrou, S. Gauthier et N. Lorente
CEMES, Toulouse - CIN2-CSIC, Bellaterra (Esp.)
« Comparaison de la croissance de couche mince d'AlN(0001) par EJM sur Si(001) et 4H-SiC(0001) par NC-AFM et KPFM »
- 12 : 55** **Déjeuner**
- 14 : 30** **Exposé invité : Julien Nicolai, Bénédicte Warot**, Cesar Magen, Christophe Gatel, Roland Teissier, Alexei Baranov, Anne Ponchet
CEMES, Toulouse - INA, Zaragoza - IES, Montpellier
« Analyse conjointe de la déformation et des gradients de composition chimique aux interfaces dans InAs/AlSb »
- 15 : 15** Mathieu Danoy, Pierre-François Angry, Julien Gavrell, Charlene Brillard, Ludovic Desplanque, Yi Wang, Pierre Ruterana et **Xavier Wallart**
IEMN, Villeneuve-d'Ascq
« Relaxation de contrainte et morphologie de surface de fines couches de GaSb épitaxiées par MBE sur substrat GaAs (001) avec couche interfaciale d'AlInSb »

- 15 : 35** **Luc Favre**, Antoine Ronda, Marco Abbarchi, Meher Naffouti, Abdelmalek Benkouider, Isabelle Berbezier, Anne Delobbe, Pierre Sudraud
IM2NP, Marseille, Orsay-Physics, Fuveau - IFN-CNR, LNESS lab, Como (It.)
« *Auto-organisation de nanocristaux par démouillage de films minces Si et Ge, sur substrats pré-gravés* »
- 15 : 55** *Pause-café*
- 16 : 30** **Exposé invité : Bruno Andreotti**
ESPCI, Paris
« *Mouillage mou : effets de surface dans les matériaux amorphes très déformables* »
- 17 : 15** *Discussion « l'épitaxie : un avenir ouvert »*
- 18 : 30** *Fin de la journée*

MARDI 28 octobre 2014

Accueil à partir de 08 : 30

- 09 : 00** **Exposé invité : Paolo Politi**, Vladislav POPKOV
ISC-CNR, Sesto Fiorentino (Italie) – ITP, Cologne (All.)
« *Multi-instability scenario of a doped evaporating crystal* »
- 09 : 45** **Maxime Ignacio**, Olivier Pierre-Louis
Institut Lumière Matière, Villeurbanne
« *Controlling the Transitions of Nanoparticles on Nanopatterned Substrates with Electromigration* »
- 10 : 05** **Stefano Curiotto**, Frédéric Leroy, Fabien Cheynis, Pierre Müller
CINaM, Marseille
« *Etude de la migration spontanée de particules d'or sur une surface vicinale de silicium (111)* »
- 10 : 25** **Pause-café**
- 11 : 00** **Exposé invité : Jean Decobert**
III-V lab, Palaiseau
« *L'épitaxie sélective : une plateforme d'intégration pour les applications photoniques* »
- 11 : 45** **Présentation des affiches**
- 13 : 00** **Déjeuner**
- 14 : 30** **Exposé invité : Ian Vickridge**, Denis Jalabert
INSP, Paris - Univ. Grenoble Alpes – LEMMA, Grenoble
« *RBS et canalisation : la diffusion élastique d'ions revisitée dans la lumière des nanosciences* »
- 15 : 15** **Yanping Wang**, Tra Thanh Nguyen, Antoine Létoublon, Charles Cornet,
Nicolas Bertru, Nathalie Boudet, Julien Stocolna, Anne Ponchet, Jack Even,
Alain Le Corre, Olivier Durand
FOTON-OHM, Rennes – CRG-D2AM, ESRF & Inst. Néel, Grenoble -
CEMES, Toulouse
« *Analyse quantitative par diffraction des rayons X des défauts plans dans GaP/Si pour la photonique sur Si* »
- 15 : 35** **Paola Atkinson**
INSP, Paris
« *Site-controlled InAs quantum dots : advances and challenges* »
- 15 : 55** **Pause-café**
- **Session Affiches**
- 18 : 30** **Fin de la journée**
- 20 : 00** **Dîner**

MERCREDI 29 octobre 2014

Journée commune aux deux GDRS

Accueil à partir de 08 : 30

- 09 : 00** **Exposé invité : Guillaume Fleury**, Karim Aissou, Muhammad Mumtaz, Xavier Chevalier, Celia Nicolet, Christophe Navarro, Ahmed Gharbi, Maxime Argoud, Patricia Pimenta-Barros, Raluca Tiron, Cyril Brochon, Eric Cloutet, Georges Hadziioannou
LCPO, Bordeaux, ARKEMA France, Lacq - CEA-LETI Grenoble
« Auto-organisation de films de copolymères à blocs en films minces »
- 09 : 45** **Parole aux industriels et équipementiers**
- 10 : 30** **Pause-café**
- 11 : 00** **Exposé invité : Evelyne Gil**
Institut Pascal, Clermont-Ferrand
« L'épitaxie en phase vapeur aux hydrures (HVPE) : le procédé inattendu pour la croissance rapide de nanofils III-V(N) à rapport de forme inédit »
- 11 : 40** **Frank Glas**
LPN, Marcoussis
« Statistique de nucléation sous-poissonienne: des expériences sur nanofils aux calculs analytiques »
- 12 : 00** **A. Benkouider**, A. Ronda, T. David, L. Favre, M. Naffouti, M. Abbarchi, K. Liu, A. Delobbe, P. Sudraud, I. Berbezier
IM2NP, Marseille – Orsay Physics, Fuveau
« Croissance de nanofils auto-organisés SiGe par épitaxie par jets moléculaire »
- 12 : 20** **Mahmoud Israel**, Régis Rogel, Alain Moreac, Jean Pierre Landesman, Laurent Pichon
Institut de Physique, Rennes
« Croissance et caractérisation Raman de nanofils de Ge »
- 12 : 40** **Discussion : La suite du GDR Nanofils**
- 13 : 00** **Déjeuner**

- 14 : 30** **Exposé invité : Charles Renard**, T. Molière, N. Cherkasin, G. Hallais, L. Vincent, D. Bouchier
IEF, Orsay – CEMES, Toulouse - LGEP-Supelec, Gif sur Yvette
« *Intégration parfaite de GaAs par épitaxie latérale sur substrat de silicium nano-structuré* »
- 15 : 15** **R. Cipro**, M. Martin, J. Moeyaert, T. Baron, F. Bassani, V. Gorbenko, S. David, J.P. Barnes, Y. Bogumilovicz, N. Rochas, V. Lou, C. Vizioz, K. Yckache, N. Chauvin, X.Y. Bao, Z .Ye, D. Carlson, J.B. Pin, E. Sanchez
LTM, Grenoble – CEA-LETI, Grenoble, INL-INSA- Lyon – AMAT, Santa Clara (USA)
« *Croissance localisée de matériaux arséniures III-V par MOCVD sur substrat silicium* »
- 15 : 35** *Pause-café*
- 16 : 00** **Exposé invité : Anna Fontcuberta i Morral**
EPFL, Lausanne, Suisse
« *Nanofils de GaAs par MBE, propriétés et applications en photonique et photovoltaïque* »
- 16 : 40** **Exposé invité : Lorenzo Rigutti**
GPM, Université de Rouen
« *Corrélation des propriétés optiques et structurales de nanofils III-N hétérostructurés au niveau du nano-objet unique* »
- 17 : 20** **Tao Zhou**, Valentina Cantelli, Olivier Ulrich, Olivier Geaymond, Nils Blanc, Gilles Renaud
SP2M-INAC, Institut Néel, Grenoble
« *In situ X-ray scattering investigations on SiGe nanowires: growth, strain and dance* »
- 17 : 40** **Giacomo Priante**, Jean-Christophe Harmand, Gilles Patriarche, Frank Glas
LPN-CNRS, Marcoussis
« *Les séquences d'empilement des nanofils III-V sont corrélées* »
- 18 : 00** *Fin de la journée*
- 19 : 00** *Réception à la mairie de Toulouse, salle des illustres*

JEUDI 30 octobre 2014

- 08 : 40** **Exposé invité : Vincent Consonni**
LMGP, Grenoble
« *Formation mechanisms of well-ordered ZnO nanowires and related heterostructures* »
- 09 : 20** **L. Wang**, J. Laurent, J.M. Chauveau, V. Sallet, F. Jomard, R. Brenier
G. Brémond
INL, Villeurbanne – CRHEA Valbonne – GEMaC, Versailles – CLYM, ILM, Lyon
« *Characterization of doping in ZnO nanowires for optoelectronic applications by scanning probe microscopy* »
- 09 : 40** **Emir Zehani**, Vincent Sallet, Said Hassani, Corinne Sartel, Alain Lussan,
Pierre Galtier, Nooshin Amirifar, Rodrigue Larde, Etienne Talbot,
Philippe Pareige, Fabrice Donatini, Julien Pernot
GEMaC, Versailles – GPM, St Etienne du Rouvray – Institut Néel, Grenoble
« *Incorporation de l'azote dans les nanofils ZnO* »
- 10 : 00** Amer Al-Nafiey, Bernard Gelloz, **Brigitte Sieber**, Ahmed Addad,
Myriam Moreau, Luc Boussekey, Rabah Boukeherroub
IRI, UMET, LASIR, Villeneuve d'Ascq – Department of Appl. Phys., Nagoya
« *Amplification de la luminescence UV de nanorods de ZnO par recuit sous forte pression de vapeur d'eau* »
- 10 :30** *Pause-café*
- 10:50** **Exposé invité : Pascal Gentile**
CEA, Grenoble, France
« *Nanofils silicium pour super et pseudo condensateurs* »
- 11:30** **Exposé invité : Guilhem Larrieu**
LAAS, Toulouse
« *Transistors 3D à nanofils pour la nanoélectronique* »
- 12:10** **Laetitia Vincent**, G.Patriarche, G. Hallais, C. Renard, C. Gardès, D. Troadec,
D. Bouchier
IEF, Orsay – LPN, Marcoussis – IEMN, Villeneuve d'Ascq
« *Allotrope heterostructured Ge nanowires* »
- 12:30** **Aurélie Lecestre**, Pascal Dubreuil, Youssouf Guerfi, Franck Carcenac,
Romain Cipro, Thierry Baron, Guilhem Larrieu
LAAS, Toulouse – LTM, MINATEC, Grenoble
« *Fabrication de réseaux de nanofils verticaux de GaAs sur substrat en Si(100) par une approche descendante* »
- 12 : 50** *Déjeuner*

- 14 : 30** **Exposé invité : Maria Tchernycheva**
IEF, Orsay
« Caractérisation électro-optique des diodes électro-luminescentes à base de nanofils InGaN/GaN »
- 15 : 10** **Exposé invité : Pamela Rueda**
Institut Néel, Grenoble
« Étude d'une boîte quantique de CdMnTe insérée dans un nanofil unique de ZnTe : corrélation entre structure et spectroscopie magnéto-optique »
- 15 : 50** **Kévin Guillo**y, Nicolas Pauc, Pascal Gentile, Samuel Tardif,
François Rieutord, Alban Gassenq, Vincent Calvo
SP2M, INAC, Grenoble
« Direct bandgap redshift of strained germanium nanowires measured by photocurrent spectroscopy »
- 16 : 10** **Exposé invité : Michel Gendry**
Institut des Nanosciences de Lyon
« Nanofils InAs/InP pour la photonique silicium: vers la croissance auto-catalysée »
- 16 : 50** *Pause-café*
- **Session posters**
- 19 : 00** *Fin de la journée*
- 20 :00** *Dîner*

VENDREDI 31 octobre 2014

- 09 : 00** **Exposé invité : Nicolas Clément**
IEMN, Villeneuve d'Ascq
« *Emergence des ISFETs OD: un nouvel outil pour la récupération d'énergie et la détection de bio-molécules uniques* »
- 09 : 40** **Laurent Pichon**, Anne Claire Salaün, Régis Rogel, Gertrude Wenga,
Emmanuel Jacques, Brice Le Borgne
IETR, Université de Rennes 1
« *Planar silicon CMOS technology silicon nanowires based sensors* »
- 10 : 00** Ievgen Kurylo, Rabah Boukherroub, **Yannick Coffinier**
IRI, IEMN, Villeneuve d'Ascq
« *Decoration of silicon nanowires by copper particles: Application to specific enrichment of labeled peptide and its detection by mass spectrometry* »
- 10 : 20** **Adrien Casanova**, Marie-Charline Blatche, , Aurélie Lecestre,
Laurent Mazonq, Cécile Ferre, Emilie Bonnaud, Daniel Gonzalez-Dunia,
Livi Nicu, Guilhem Larrieu
LAAS, CPTP, Toulouse
« *Développement de nanosystèmes à base de nanofils pour l'adressage intra-neuronal* »
- 10 : 40** **Pause-café**
- 11 : 10** **Exposé invité : Julien Renard**
CEA, Grenoble
« *Transport électronique dans les nanofils Silicium* »
- 11 : 50** **Florian Vigneau**, Vladimir Prudkovkiy, Ivan Duchemin, Walter Escoffier,
Philippe Caroff, Yann-Michel Niquet, Renaud Leturq, Michel Goiran,
Bertrand Raquet
LNCMI, Toulouse – SP2M, Grenoble – IEMN, Villeneuve d'Ascq
« *Transport électronique dans des nanofils d'InAs sous champ magnétique intense* »
- 12 : 10** **Jérôme Larroque**, Jérôme Saint-Martin, , Philippe Dollfus
IEF, Université Paris-Sud, Orsay
« *Modélisation des effets hors équilibre sur le transport de phonons anisotropes dans des nanofils de silicium* »
- 12 : 30** **Michele Amato**, Riccardo Rurali, Maurizia Palummo, , Stefano Ossicini
IEF, Orsay – ICMAB, Bellaterra – Università di Roma, Rome
Università di Modena e Reggio Emilia, Reggio Emilia
« *Si-Ge nanowires: chemistry and physics in play, from basic principles to advanced applications* »
- 12 : 50** **Conclusion de la réunion**
- 13 : 00** **Déjeuner**

FIN DE LA REUNION



**Liste des Affiches
(Par ordre Alphabétique)**

Toulouse
27-31 octobre 2014

GDR PULSE et GDR Nanofils

Guilhem Almuneau, Fares Chouchane, Stéphane Calvez et Chantal Fontaine

LAAS, Toulouse

Solutions technologiques planaires pour un confinement par oxyde enterré pour de nouvelles architectures VCSEL

Paola Atkinson, Mahmoud Eddrief, Victor H. Etgens, Fabio Finocchi, Maxime Debiossac, Asier

Zugarramurdi, Andrey G. Borisov, Hocine Khemliche et Philippe Roncin

INSP, Paris - ISMO, Orsay, VeDeCom, Versailles

Dynamic Grazing Incidence Fast Atom Diffraction : in-situ monitoring of GaAs growth oscillations and surface reconstructions

Paola Atkinson, Valerio Pasquali, Andrey Pankratov, Richard Hostein, Valia Voliotis

INSP, Paris

Droplet etching – a flexible pathway for controlled quantum dot growth

M. Bouchaour, N. Maloufi, G. Orsal, S. Gautier, A. Ould-abbas, N.E. Chabane Sari et A. Ougazzaden

URMER, Tlemcen (Algérie) - SUPELEC, Metz -LEMMM, Université de Metz, UMI Georgia Tech-CNRS

Etude de la croissance des couches de GaN sur Différents substrats

Victor Boureau, Daniel Benoit, Bénédicte Warot, Martin Hytch et Alain Claverie

CEMES, Toulouse - STMicroelectronics, Crolles

Déformations introduites par condensation de germanium dans des couches SiGe épitaxiées sur Si

Rabia Boussaha, Hedi Fitouri, Ahmed Rebey et Belgacem Eljani

Université de Monastir (Tunisie)

Effet de la température de croissance et de la désorientation des substrats sur la morphologie des nanostructures InAsBi/GaAs (001)

Nicolas Jamond, Pascal Chrétien, Ludovic Largeau, Olivia Mauguin, Elisabeth Galopin, Laurent

Travers, Jean-Christophe Harmand, Frédéric Houze et Noëlle Gogneau

LPN, Marcoussis - LGEP, Gif sur Yvette

Effect of the AlN interfacial layer on the piezoelectric properties of GaN NWs

Frédéric Leroy, Fabien Cheynis, Thibault Passanante, Stefano Curiotto et Pierre Müller

CINaM, Marseille

Etude et contrôle des mécanismes de démouillage à l'état solide

K. Madiomanana, J.-B Rodriguez, L. Cerutti, A. Castellano, M. Bahri, L. Largeau, O. Mauguin, G.

Patriarche et E. Tournié

IES, Montpellier - Alcatel – III-V Lab, Marcoussis - LPN, Marcoussis

Substrate cleaning process for the MBE growth of Sb-based 1.55 μm lasers on Si

Hajer Makhloufi, Alexandre Arnoult, Alexandre Larrue, Guy Lacoste, Emmanuelle Daran et

Chantal Fontaine

LAAS, Toulouse

Épitaxie de boîtes quantiques InAs sur des surfaces de GaAs (001) nanostructurées- effet d'un puits GaInAs contraint sous-jacent

Mickaël Martin, Romain Cipro, Thierry BaroN, Jeremy Moyaert, Franck Bassani, Viktoriia Gorbenko, Jean-Paul Barnes, Yann Bogumilovicz, Patrice Gergaud, Xinyu Bao, Zhiyuan YE, David Carlson, Jean-Baptiste Pin et Errol Sanchez

LTM/CNRS Grenoble - CEA, LETI Grenoble , APPLIED MATERIALS, Santa Clara (USA)

Épitaxie par MOCVD et caractérisation de couches minces III-As et III-P sur substrat silicium 300mm

Timothée Molière, Charles Renard, N. Cherkashin, G. Hallais, L. Vincent, A. Jaffré, D. Bouchier et D. Mencaraglia

IEF, Orsay - LGEP-Supelec. Gif sur Yvette – CEMES, Toulouse

Vers l'hétéro-épitaxie localisée et sans défauts de GaAs sur silicium

A Bebkouider, A. Ronda, T. David, L. Favre, M. Naffouti, M. Abbarchi, K. Liu, A. Delobbe, P. Sudraud et I. Berbezier

IM2NP, Marseille - Orsay Physics, Fuveau

Nanofabrication FIB de nanofils cœur-coquille SiGe

Virginie Brouzet, Bassem Salem, Priyanka Periwal, Thierry Baron, Franck Bassani, Pascal Gentile et Gérard Ghibaudo

LTM, SP2M, IMEP-LAHC Grenoble

Caractérisation électrique de Tunnel FET à base de nanofils horizontaux à hétérostructure Si/SiGe

Pierre Marie Coulon, Blandine Alloing, Virginie Brandli, Monique Teisseire, Philippe Venegues,

Mathieu Leroux et Jésus Zuniga-Perez

CRHEA, Valbonne

Croissance sélective de nanofils par EPVOM : influence des paramètres de croissances et comparaison avec des microfils auto-assemblés

Emmanuel Daran, Amandine Lestras, Aurélie Lecestre, Sébastien Plissard et Guilhem Larrieu

LAAS, Toulouse

Développement d'un procédé de nanoimpression thermique pour la réalisation grande échelle de réseau de nanofils III-V

Martin Foldyna, Soumyadeep Misra, Linwei Yu, Wanghua Chen, Jian Tang et Pere Roca i Carbarrocas LPICM, Palaiseau - Nanjing University, Nanjing (Chine)

Plasma enhanced vapor-liquid-solid grown nanowires in thin silicon radial junction solar cells on glass

Yamina Ghozlane Habba, Martine Capo-Chichi, Linda Serairi et Yamin Leprince-Wang

LPMDI, Marne-la-Vallée

ZnO nanostructure synthesis via hydrothermal and electrospinning methods for gas sensor

S. A. Said Hassani, C. Sartet, C Vilar, A. Lusson, V. Sallet et P. Galtier

Groupe d'Etude de la Matière Condensée, Versailles

Hétérostructures latérales cœur-coquille ZnO/ZnMgO sur des nanofils ZnO

Geraldine Hallais, Gilles Patriarche, Charles Renard, Laetitia Vincent et Daniel Bouchier
Univ. Paris Sud, Orsay et LPN Marcoussis
Nanofils cœur-coquille Ge/GaAs pour des applications photovoltaïques

Linda Serairi, Martine Capo-Chichi, Yamina Ghozlane Habra et Yamin Leprince-Wang
LPMDI, Marne-la-Vallée
Energy harvesting based on ZnO nanowire arrays

B. Sieber, J. Salonen, E. Makila, M. Tenho, M. Heinonen, H. Huhtinen, P. Paturi, E. Kukk, G. Perry, A. Addad, M. Moreau, L. Boussekey et R. Boukherroub
UMET, IRI, LASIR, Villeneuve d'Ascq – Université de Turku, Turku (Finlande)
Ferromagnetisme induit dans des nanorods de ZnO par modification morphologique sous atmosphère carbone-azote

Emir Zehani, Said Hassani, Alain Lussion, François Jomard, Jackie Vigneron, Arnaud Etcheberry, Vincent Sallet et Pierre Galtier
Groupe d'Etude de la Matière Condensée, Institut Lavoisier, Versailles
Etude du dopage ex-situ des nanofils de ZnO par diffusion d'arsenic, de phosphore et d'antimoine

Emir Zehani, Vincent Sallet, Said Hassani, Corinne Sartel, Alain Lussion, Pierre Galtier, Nooshin Amirifar, Rodrigue Larde, Etienne Talbot, Philippe Pareige, Fabrice Donatini et Julien Pernot
Groupe d'Etude de la Matière Condensée, Versailles – GPM, Rouen, Néel, Grenoble
Incorporation de l'azote dans les nanofils ZnO

Tao Zhou, O. Ulrich, O. Geaymond, O. Robach, P. Müller et G. Renaud
INAC/SP2M, Néel, Grenoble - CINAM, Marseille
Displaced Bragg Method to study in situ the bending of single crystal NWs



Résumés

Présentations Orales

—

Toulouse

27-31 octobre 2014

ÉPITAXIE PAR JETS MOLECULAIRES DE SEMI-CONDUCTEURS A BASE D'ANTIMOINE SUR SUBSTRAT Si POUR LA PHOTONIQUE

Laurent CERUTTI^{1,2}, Jean Baptiste RODRIGUEZ^{1,2}, Karine MADIOMANANA^{1,2}, Andrea CASTELLANO^{1,2,3}, Eric TOURNIÉ^{1,2,*}

1: IES. Université de Montpellier, UMR 5214, F-34000 Montpellier, France

2: CNRS, IES. Université de Montpellier, F-34000 Montpellier, France

3 : Alcatel – III-V Lab. F-91460 Marcoussis, France

Auteur contact : cerutti@um2.fr

Mots clés : Antimoniures, substrat silicium, 1.55 μm

Parmi les semi-conducteurs III-V, les antimoniures sont ceux qui ont un paramètre de maille proche de celui du GaSb. Ces matériaux incluent le GaSb, l'AlSb, l'InAs, l'InSb et leurs alliages. Bien qu'ils permettent de couvrir une gamme de longueur d'onde allant du proche au lointain infrarouge, ils sont principalement utilisés pour la fabrication de composants optoélectroniques moyen infrarouge et plus particulièrement des lasers émettant entre 2 et 3,5 μm [1]. De plus, les antimoniures présentent une propriété intéressante en ce qui concerne la relaxation, particulièrement lorsque la différence de paramètre de maille est importante ($\Delta a/a > 5\%$). En effet, le phénomène de relaxation se fait préférentiellement par l'apparition d'un réseau de dislocations confiné à l'interface entre le substrat et la couche, ce qui (en théorie) diminue la densité de dislocations traversantes en comparaison avec les autres familles de semi-conducteurs III-V [2]. Ces propriétés ont permis la réalisation de lasers antimoniures opérant en régime continu à température ambiante autour de 2 μm sur substrats de GaAs et Si [3,4].

En parallèle, une demande de plus en plus importante vise à intégrer les composants III-V opérant à 1,55 μm avec la photonique. Dans ce contexte, les propriétés de relaxation des semi-conducteurs à base d'antimoine peuvent offrir une alternative à l'intégration directe par rapport aux lasers sur InP.

Ainsi, nous présenterons un état de l'art de la croissance des antimoniures sur substrat de Si, puis les différentes études pour réaliser des lasers 1,55 μm sur GaSb. Enfin, nous montrerons l'importance de la préparation du substrat sur les propriétés des couches épitaxiées.

L'ensemble de ces développements mis ensemble, permettra d'améliorer les performances des lasers antimoniures émettant à 1,55 μm sur substrat Si, offrant une nouvelle voie à l'intégration directe de composants telecoms sur Si.

Une partie de ce travail est financée par le projet ANR OPTOSI n° 12-BS03-002 et par Institut Universitaire de France.

References :

- [1] E. Tournié and A.N. Baranov, Mid InfraRed semiconductor lasers, in *Semicond. and Semimetals* **86**, 183 (2012).
- [2] A. Rocher and E. Snoeck, *Mat. Sc. Eng.* **67**, 62 (1999).
- [3] J.B. Rodriguez, L. Cerutti, E. Tournié, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 023506 (2009).
- [4] J.R. Reboul, L. Cerutti, J.B. Rodriguez, P. Grech, and E. Tournié, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 121113 (2011).

*Membre de l'Institut Universitaire de France

GaAsBi : DES ALLIAGES III-V EMERGENTS AUX PROPRIETES ORIGINALES

Alexandre ARNOULT^{1,4}, Simone MAZZUCATO², H el ene CARRERE², Hajer MAKHLOUFI^{3,4*}, Julien NICOLAI^{3,4}, Guy LACOSTE^{1,4}, Anne PONCHET^{3,4}, Fuccio CRISTIANO^{1,4}, Xavier MARIE², Chantal FONTAINE^{1,4}

¹ LAAS, 7 avenue du Colonel Roche, Toulouse, France

² LPCNO, INSA, Universit e de Toulouse, UMR 5215, 135 avenue de Rangueil, 31077 Toulouse CEDEX 4

³ CEMES, 29, rue Jeanne Marvig, BP 94347, 31055 Toulouse Cedex 4

⁴ Universit e de Toulouse

Contact : chantal.fontaine@laas.fr

Mots clefs :  pitaxie par jets moléculaires, semiconducteurs III-V, bismuth, propriétées structurales, propriétées électroniques

Les alliages à base de bismure de type GaAs_{1-x}Bi_x ont été le centre d'une attention croissante cette dernière décade. Beaucoup d'efforts ont été faits afin de mesurer et comprendre leurs propriétées électroniques [1,2,3]. Dans le même temps, leurs conditions de croissance ont été optimisées [4]. Cependant, il a été trouvé que des agrégats de Bi et du désordre d'alliage limitent l'efficacité de luminescence lorsque la concentration en bismuth de l'alliage augmente. Des recuits à haute température ont été réalisés [5] afin d'améliorer leur propriétées. Ils se sont montrés efficaces.

Récemment, nous avons élaboré des puits quantiques de GaAsBi et leurs propriétées électroniques se sont avérées prometteuses [6]. En particulier, pour un puits quantique avec une fraction molaire de 0,07 [7], la concentration de Bi est uniforme, avec des interfaces de puits très abruptes. Ce puits quantique émet à 1,23 m. Cependant, l'évolution de son énergie d'émission en fonction de la température met en évidence la présence d'agrégats de Bi et/ou du désordre d'alliage. Nous avons réalisé des recuits à haute température. L'émission des puits quantiques de GaAsBi s' st alors améliorée pour des températures de recuit modérées (650 C), mais s' st rapidement dégradée pour de plus hautes températures. Pour ces températures élevées, un fort décalage vers le bleu a été observé. Nous l'avons relié à l'exodiffusion du Bi des puits quantiques, comme le confirment le SIMS et la diffraction X. Nous discuterons ces résultats. Pour différents puits quantiques, nous montrerons comment la diffusion du bismuth évolue en fonction de la concentration en Bi et de la température de recuit.

Références :

- [1] M. Masnadi-Shirazi *et al.*, J. Cryst. Growth 338, 80- 84 (2012).
- [2] M. Usman *et al.*, Phys. rev. B 84, 245202 (2011).
- [3] S. Mazzucato *et al.* Appl. Phys. Lett. 102, 252107 (2013).
- [4] S. Tixie *et al.*, Appl. Phys. Lett., 82 (14), 2245 (2003).
- [5] A. R. Mohmad *et al.*, Appl. Phys. Lett. 99, 042107 (2011).
- [6] Y. Tominaga, *et al.* Appl. Phys. Lett. 93, 131915 (2008).
- [7] H. Makhloufi *et al.* Nanosc. Res. Lett. 2014, 9:123 (2014).

CATALYSE PAR LE Sr DE LA CRISTALLISATION DE SrTiO₃ LORS DES PREMIERS STADES DE SA CROISSANCE SUR Si

Guillaume SAINT-GIRONS¹, Romain BACHELET¹, Geneviève GRENET¹, José PENUELAS¹,
Lamis LOUAHADJ², Adrian CARRETERO-GENEVRIER¹, Bruno CANUT¹, Mathieu SILLY³,
Fausto SIROTTI³

1: INL/UMR5270, Ecole Centrale de Lyon, 36 avenue Guy de Collongue 69134 Ecully cedex, France

2: RIBER SA, 31 rue Casimir Périer, 95870 Bezons cedex, France

3: Synchrotron SOLEIL, l'Orme des Merisiers, 91190 Saint-Aubin, France

Guillaume Saint-Girons : guillaume.saint-girons@ec-lyon.fr

Mots clés : épitaxie, cinétique de cristallisation, oxydes, intégration sur Si, catalyse

La possibilité de faire croître des couches minces de SrTiO₃ (STO) sur silicium par épitaxie par jets moléculaires (EJM), grâce au procédé d'ingénierie d'interface proposé par McKee et son équipe [1] ouvre la voie à l'intégration sur Si d'oxydes fonctionnels aux propriétés variées (ferroélectricité, ferromagnétisme, piézoélectricité, ...) et à des perspectives applicatives prometteuses. La croissance de STO sur Si représente cependant un défi du fait de l'hétérogénéité chimique et structurale entre matériau et substrat.

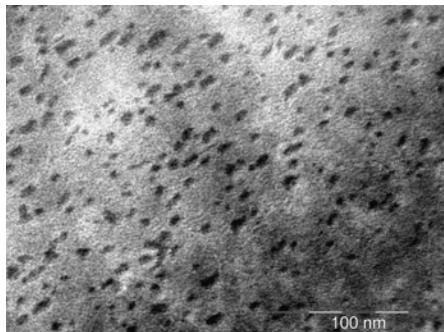


Figure 1 : morphologie (TEM) d'une couche très mince de STO/Si : cristallites de STO dans une matrice amorphe

Dans la présente contribution, nous résumerons tout d'abord l'état des connaissances sur l'épitaxie du système STO/Si. Nous démontrerons ensuite que, dans les conditions extrêmes de croissance imposées par la réactivité de l'interface, un excès de Sr est nécessaire pour obtenir la cristallisation complète du STO. Nous montrerons que ceci est lié à un mécanisme de catalyse, par le Sr, de la dissociation du TiO₂ permettant de former le réseau du STO.

Références :

[1] R.A. McKee, F.J. Walker and M.F. Chisholm, *Phys. Rev. Lett.* **1998**, 81, 3014.

GRAPHENE GROWTH BY MOLECULAR BEAM EPITAXY (ON SiC)

I. RAZADO-COLAMBO, X. WALLART and D. VIGNAUD

IEMN (UMR 8520 CNRS) - University of Lille

CS60069 59652 Villeneuve d'Ascq Cedex France

Dominique.Vignaud@univ-lille1.fr

Mots clés : graphene, SiC, molecular beam epitaxy

Molecular beam epitaxy was seldom used for graphene growth up to now. It is the purpose of this presentation to show the potentialities of MBE for this purpose, emphasizing its advantages and limitations.

The first part of this talk will be devoted to substrate issues. Because of the potential applications of MBE graphene for nano-electronics, and because there are no lattice-matched substrates (graphite cannot be considered), insulating materials would be preferred. Based on a literature survey, different substrate materials were considered, which led us to the choice of SiC as the substrate for MBE graphene studies.

The generation of a C-rich thin layer resulting from Si sublimation during high temperature anneal of SiC is known for decades, even before calling this layer graphene [Van Bommel 1975]. SiC is a polar semiconductor, and it must be pointed out that the graphene structure is strongly face-dependent. In the second part of this talk, the main characteristics of graphene on SiC will be briefly reviewed. The main limitations of the graphitisation technique will be also discussed.

In the third part, the characteristics of the graphene grown by molecular beam epitaxy will be detailed [Moreau 2010, 2011, 2013]. The technique will be first presented, as well as some improvements able to lead to higher quality material. Despite the very different growth process involved (annealing only or MBE), an identical SiC face-dependency of the graphene structure is observed in both cases. The main advantages/drawbacks of both techniques will be finally compared.

Références :

E. Moreau et al., Appl. Phys. Lett. **97**, 241907 (2010)

E. Moreau, PhD Thesis, University of Lille (2011)

E. Moreau et al., Phys. Rev. B **88**, 075406 (2013)

A.J. Van Bommel et al., Surf. Sci. **48**, 463 (1975)

COMPARAISON DE LA CROISSANCE DE COUCHE MINCE D'AIN(0001) PAR EJM SUR Si(001) ET 4H-SiC(0001) PAR NC-AFM ET KPFM

F. CHAUMETON¹, R. ROBLES², D. MARTROU¹, S. GAUTHIER¹ et N. LORENTE²

1: CEMESs-CNRS, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse, France

2: CIN2-CSIC, CIN2 building, UAB, 08193 Bellaterra, Spain

Auteur contact : Florian.Chaumeton@cemes.fr

Mots clés : AlN(0001), EJM, NC-AFM&KPFM, dislocation vis, couche mince.

Le nitrure de gallium (GaN) et d'aluminium (AlN) sont des semi-conducteurs à grand gap : 3,4eV et 6.2eV respectivement. L'imagerie par courant tunnel (STM) est possible sur le GaN [1], mais reste impossible pour l'AlN en raison de son gap. En conséquence, la structure atomique de surface de l'AlN(0001) reste inexplorée et la microscopie à force atomique (AFM) est la seule technique qui permette d'obtenir des informations à l'échelle atomique de telle surface.

Des couches minces de 5nm à 400nm d'AlN(0001) ont été déposées par épitaxie à jet moléculaire [2] sur des surfaces de Si(111) et SiC(0001). Du gaz NH₃ a été utilisé comme précurseur azote durant l'épitaxie, et la croissance suivie par diffraction RHEED. Les échantillons ainsi obtenus ont été transférés sous ultravide sur une tête AFM Omicron afin d'effectuer à température ambiante une étude par AFM en mode non-contact (NC-AFM) et par sonde de Kelvin (KPFM). Les paramètres de croissance ont ainsi pu être optimisés pour diminuer autant que faire se peut la densité de défaut de surface. On constate que la grande majorité des défauts sont constitués de paires de dislocation vis émergentes et que la densité de défaut est grandement diminuée pour des couches épitaxiées sur du 4H-SiC en raison du faible désaccord de paramètre de maille entre le SiC et l'AlN comme on peut le voir en comparant la Figure 1 et 2. Il est également possible de diminuer considérablement la densité de dislocation en diminuant le rapport III/V et l'épaisseur de la couche d'AlN.

Nous avons également trouvé les conditions spécifiques de croissance qui permettent d'obtenir de façon reproductible la reconstruction (2×2), observé au RHEED et par NC-AFM (Fig. 2b). Un modèle pour cette reconstruction a été proposé, basé sur le diagramme de phase de l'AlN calculé à partir du premier principe de la thermodynamique.

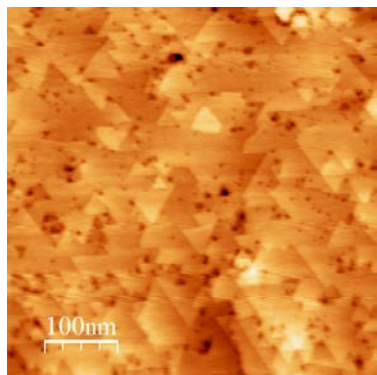


Figure 1- NC-AFM image of AlN(0001) for a 160 nm thick film grown on Si(111). Imaging conditions: A=5nm, $f_0=261\text{kHz}$, $\Delta f=-5\text{Hz}$

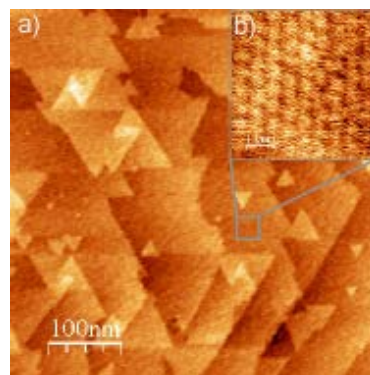


Figure 2- NC-AFM image of AlN(0001) for a 200 nm thick film grown on 4H-SiC(0001). Inset: zoom on a terrace, showing the (2×2) reconstruction. Imaging conditions: A=5nm, $f_0=280\text{kHz}$, $\Delta f=-20\text{Hz}$

Références :

- [1] R. M. Feenstra, J. E. Northrup, *MRS Int. J. Nitride Semicond. Res.*, **2002**, 7, 3
- [2] S. Vézian, F. Natali, F. Semond, J. Massies, *Phys. Rev. B*, **2004**, 69, 125329

ANALYSE CONJOINTE DE LA DEFORMATION ET DES GRADIENTS DE COMPOSITION CHIMIQUE AUX INTERFACES DANS InAs/AlSb

JULIEN NICOLAI¹, BENEDICTE WAROT-FONROSE¹, CESAR MAGEN², CHRISTOPHE GATEL¹, ROLAND TEISSIER³, ALEXEI BARANOV³, ANNE PONCHET¹

¹CEMES CNRS-UPR 8011, Université de Toulouse, 31055 Toulouse, France

²INA-Universidad de Zaragoza, 50018 Zaragoza, Spain

³IES CNRS-UMR 5214, 34095 Montpellier, France

warot@cemes.fr

Mots clés : Analyse quantitative, STEM, TEM, interfaces

La détermination des déformations épitaxiales à l'échelle locale est bien souvent indispensable dans les couches minces de semiconducteurs pour expliquer les propriétés électriques ou optiques. Les déformations élastiques peuvent être déterminées par microscopie électronique en transmission en mode haute résolution. Les méthodes d'analyse d'images permettent de mesurer ces déformations avec une résolution nanométrique, et ainsi de s'intéresser aux contraintes au voisinage des interfaces.

De plus, l'alternance de couches n'ayant aucun atome commun implique la formation d'interfaces où les déformations mais aussi les compositions chimiques varient par rapport à chacune des couches. Les analyses locales de déformations sont donc associées à des mesures locales de composition chimique, par spectroscopie de pertes d'énergie des électrons notamment. L'étude du contraste chimique peut aussi s'effectuer par STEM-HAADF (high angle annular dark field) résolu atomiquement.

La combinaison des analyses structurales et chimiques locales permet de déterminer la nature des interfaces.

Cette approche sera proposée sur des hétérostructures arséniures/antimoniures d'éléments III, systèmes phares pour la photonique dans le domaine infrarouge moyen (entre 2 et 5 μm). Certains de ces systèmes présentent de très grands décalages de bande de conduction (CBO), qui les rendent attrayants pour une utilisation dans les dispositifs exploitant les transitions électroniques intrabande. Par exemple, les multicouches InAs / AlSb déposées sur InAs ont été utilisées avec succès pour réaliser des lasers à cascade quantique (QCL) émettant en dessous de 3 μm ¹.

Les propriétés électriques et optiques de ces hétérostructures sont fortement dépendantes de la qualité cristalline des couches. En particulier, les propriétés structurales de l'interface (gradients de contrainte, largeur des zones interfaciales, ...) sont très complexes en raison du changement simultané des éléments du groupe III et du groupe V au niveau des interfaces. Le but de cette étude est de caractériser les propriétés de l'interface en fonction des séquences de croissance².

Références :

- [1] J.Devenson, O.Cathabard, R.Teissier, A.Baranov, *Applied Physics Letters*, **2007**, 91, 141106
- [2] J.Nicolai, Ch.Gatel, B.Warot-Fonrose, R.Teissier, A.Baranov, C.Magen, A. Ponchet, *Applied Physics Letters*, **2014**, 109, 031907

Ce travail a été financé par le projet NAIADÉ (ANR-11-BS10-017).

RELAXATION DE CONTRAINTE ET MORPHOLOGIE DE SURFACE DE FINES COUCHES DE GaSb EPITAXIEES PAR MBE SUR SUBSTRAT GaAs (001) AVEC COUCHE INTERFACIALE D'AlInSb

Mathieu DANOY¹, Pierre-François ANGRY¹, Julien GAVRELI¹, Charlène BRILLARD¹, Ludovic DESPLANQUE¹, Yi WANG², Pierre RUTERANA² et Xavier WALLART¹

1: Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie, UMR CNRS 8520, Université Lille1, Cité Scientifique, Avenue Poincaré, CS60069, 59652 Villeneuve-d'Ascq Cedex, FRANCE)

2: CIMAP, UMR 6252, ENSICAEN, 6 Bd Maréchal Juin, 14050 Caen, FRANCE

Auteur contact : xavier.wallart@iemn.univ-lille1.fr

Mots clés : relaxation de contrainte, morphologie de surface, antimoniures, épitaxie

Lors de l'épitaxie de GaSb sur GaAs, des conditions de croissance particulières permettent de favoriser la relaxation de contrainte par la formation d'un réseau de dislocations de Lomer confinées à l'interface. Cependant, la corrélation entre ce mode particulier d'accommodation du désaccord de maille et la densité finale de dislocations traversantes (DTs) des couches actives supérieures n'est pas démontrée, ni même reproductible. L'une des raisons de cette situation est que le réseau de dislocations interfaciales ne permet de relaxer qu'une partie de la contrainte totale. Cela conduit alors à la croissance d'une couche partiellement contrainte qui continue de relaxer lors de la croissance avec introduction de DTs. Pour que le réseau de dislocations interfaciales réduise significativement la densité de DTs, il devrait relaxer totalement le désaccord de maille dès les premiers stades de la croissance, ce qui est peu probable énergétiquement. Le but de ce travail est d'explorer le rôle d'une couche d'AlInSb à l'interface GaSb/GaAs sur la relaxation de contrainte et la morphologie de surface lors du début de la croissance de GaSb sur GaAs.

Nous avons d'abord étudié la croissance de couches de GaSb sur une surface GaAs terminée Sb dans une gamme de température de croissance (T_c) allant de 400 à 510°C et pour une épaisseur de 10 monocouches. Comme attendu, une faible T_c favorise un mode de croissance 2D, aux dépens de la relaxation. Cette dernière est meilleure aux hautes T_c (jusque 480°C) mais dans ce cas, la surface devient rugueuse. Nous avons ensuite inséré une couche interfaciale d'AlSb d'épaisseur variable qui a conduit à une diminution la rugosité de surface à 480°C mais n'a pas permis d'atteindre la relaxation totale, notamment dans la direction [110]. Pour améliorer la relaxation, nous avons introduit l'alliage AlInSb à l'interface. La T_c ne peut alors être supérieure à 450°C pour éviter une rugosification de la surface. Par contre, une trop faible T_c induit une très forte anisotropie de relaxation qui peut être reliée à la formation d'îlots de GaSb allongés suivant la direction [110] sous forts rapports V/III. Le meilleur compromis trouvé est une couche AlInSb de 12 monocouches d'épaisseur avec un taux d'indium de l'ordre de 5% et une T_c de 450°C. Dans ce cas, la relaxation avoisine les 100% dans les 2 directions et nous avons pu montrer que la largeur à mi-hauteur du pic de diffraction de rayons X associé à une couche de GaSb de 0.6 μm épitaxiée sur cette couche interfaciale était réduite de 50%.

AUTO-ORGANISATION DE NANOCRISTAUX PAR DÉMOUILLAGE DE FILMS MINCES Si ET Ge, SUR SUBSTRATS PRÉ-GRAVÉS

Luc FAVRE¹, Antoine RONDA¹, Marco ABBARCHI¹, Meher NAFFOUTI¹, Abdelmalek BENKOUIDER¹, Isabelle BERBEZIER¹, Anne Delobbe², Pierre SUDRAUD²

¹ IM2NP, UMR 7334, CNRS, Aix-Marseille Université, 13397 Marseille, France

² Orsay-Physics, 13710 Fuveau, France

³ IFN-CNR, LNESS laboratory, 22100 Como, Italy

Mots clefs : Nanostructuration, lithographie, démouillage, silicium, germanium.

La diminution continue de l'échelle de taille dans l'industrie de la microélectronique a conduit à l'intégration de matériaux nanostructurés au sein des composants optoélectroniques. La pleine exploitation des propriétés quantiques de ces objets requiert une distribution de taille aussi étroite que possible, ainsi qu'un positionnement de ces objets, parfaitement maîtrisé. De récentes avancées ont permis d'élaborer de nouveaux procédés d'auto-organisation, et d'approfondir notre connaissance des mécanismes physiques les régissant [1].

Cette étude présentera la possibilité de former des îlots de silicium et germanium à partir de couches minces, à l'aide d'un processus novateur développé au sein de notre équipe. Son principe, dit de « démouillage » [2], consiste à exploiter les instabilités morphologiques de films minces semi-conducteurs, pour les transformer en un réseau de nano-objets. L'évolution morphologique d'une nanostructure étant définie par les variations énergétiques de son environnement proche, la forme d'équilibre du système dépendra principalement de la compétition entre énergies de surface et d'interface des matériaux utilisés.

En couplant ce procédé avec de la lithographie électronique ou ionique, nous montrerons qu'il est possible d'obtenir des nanocristaux auto-organisés et de taille homogène, à grande échelle [3]. Nous utilisons, pour ce faire, des couches minces Si ou Ge, amorphes ou cristallines, préalablement gravées [4]. Lors du démouillage, la rétractation du film à partir du bord des gravures, conduit à un auto-assemblage contrôlé d'îlots, dont la taille et l'agencement sont définis par l'épaisseur initiale du film, la forme et la périodicité motifs gravés [5]. Nous présenterons les propriétés des nano-objets ainsi obtenus, ainsi que leurs applications en microélectronique et optoélectronique (transistors à grille flottante, émetteurs de lumière, transistors à nanofils).

Références :

- [1] J.-N. Aqua, I. Berbezier, L. Favre, T. Frisch and A. Ronda, *Phys. Rep.*, **2013**, 522, 59–189.
- [2] M. Aouassa, L. Favre, A. Ronda, H. Maaref and I. Berbezier, *New J. Phys.*, **2012**, 14, 063038–063038-6.
- [3] I. Berbezier, M. Aouassa, A. Ronda, L. Favre, M. Bollani, R. Sordan, A. Delobbe and P. Sudraud, *J. Appl. Phys.*, **2013**, 113, 064908–064908-6.
- [4] A. Benkouider, I. Berbezier, A. Ronda, L. Favre, E. Ruiz Gomes, I. C. Marcus, I. Alonso, A. Delobbe and P. Sudraud, *Thin Solid Films*, **2013**, 543, 69–73.
- [5] M. Aouassa, I. Berbezier, L. Favre, A. Ronda, M. Bollani, R. Sordan, A. Delobbe and P. Sudraud, *Appl. Phys. Lett.*, **2012**, 101, 013117–013117-4.

SOFT WETTING : SURFACE EFFECTS IN HIGHLY DEFORMABLE AMORPHOUS MATERIALS.

Bruno ANDREOTTI

*Laboratoire de de Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes, Ecole Supérieure Physique
Chimie Industrielle Ville Paris, 10 rue Vauquelin, 75005-Paris*

Contact : andreotti@pmmh.espci.fr

As largely demonstrated in the last two decades, elasticity plays an important role in surface physics. Phenomena such as surface reconstruction, surface segregation, surface adsorption, elastic instabilities, self assembly, and nano-structuration of crystalline solids are directly induced by surface stresses. However, it is only recently that the soft condensed matter community has discovered these works and started to extend concepts to soft amorphous solids. I will review the important thermodynamic results of solid surface physics, which make the distinction between two quantities that turn out to be equal in an incompressible liquid: surface energy and surface stress. I will then show that important qualitative phenomena are not correctly described by macroscopic theories and require a treatment where nanoscopic aspects are explicitly introduced. These concepts will be illustrated by recent experimental results obtained on gels and elastomers.

MULTI-INSTABILITY SCENARIO OF A DOPED EVAPORATING CRYSTAL

Paolo POLITI¹, Vladislav POPKOV²

1: ISC-CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (Italy)

2: Institut für Theoretische Physik, Universität zu Köln, Zùlpicher Strasse 77, 50937 Cologne, Germany

Contact author: paolo.politi@cnr.it

Mots clés : Crystal surfaces ; step-bunching instability ; doping.

Crystal surfaces may undergo dynamical instabilities while growing or evaporating. An important class of instabilities is that determined by an asymmetric current of adatoms diffusing on terraces. In particular, under the action of an electric current atomic steps are no more equidistant and bunch together.

We show analytically that an infinitesimal quantity of a dopant may invert the stability, whatever the sign of the current. Furthermore, increasing the quantity of dopant we may have a sequence of stability/instability transitions. Our study is relevant for experimental results [2] on an evaporating Si(111) surface under Au doping.

Références :

[1] V. Popkov and P. Politi, *Phys. Rev. B* **2012**, 86, 161413(R).

[2] S. S. Kosolobov, S. A. Song, L. I. Fedina, A. K. Gutakovskii, and A. V. Latyshev, *JETP Lett.* **2005**, 81, 117.

CONTROLLING THE TRANSITIONS OF NANOPARTICLES ON NANOPATTERNED SUBSTRATES WITH ELECTROMIGRATION

Maxime IGNACIO et Olivier PIERRE-LOUIS

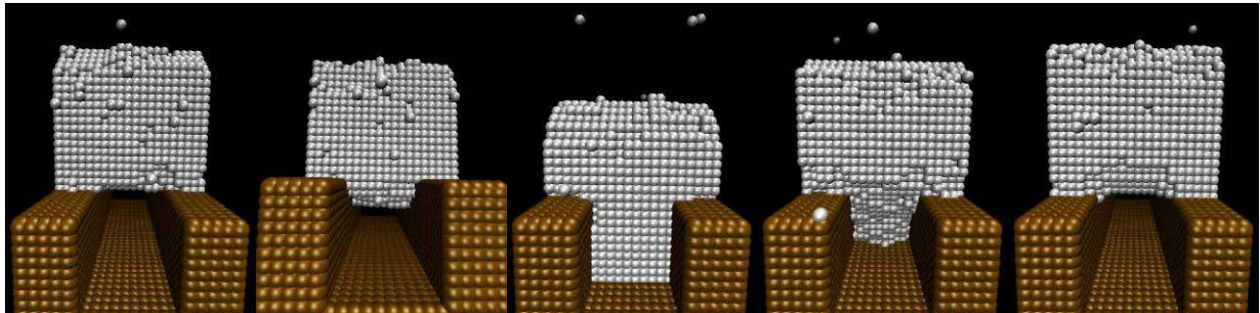
*Institut Lumière Matière, UMR5306 Université Lyon 1-CNRS, Université de Lyon
69622 Villeurbanne cedex, France*

maxime.ignacio@univ-lyon1.fr

Mots clés : electromigration, solid wetting, KMC, stability

Solid islands (or nanoparticles) on nanopatterned substrates exhibit multi-stability: several different stable or metastable configurations may coexist simultaneously. For example, in presence of nano-trenches, the island may either penetrate into the trenches (Wenzel state), or stay on the substrate surface with voids in the trenches (Cassie-Baxter state) [1,2]. Similar phenomena have been observed for the wetting of liquid drops on micro-patterned substrates.

Here, we suggest a novel kind of addressable nano-switch based on this multistability. We propose to control the transitions from one state to the other using an electron beam. We assume that the electrons of the beam induce electromigration on the surfaces of the island. We obtain expressions for the critical electron flux to force the transitions, and confirm our results with Kinetic Monte Carlo simulations [3].



Références :

[1] O. Pierre-Louis and Y. Saito, "Wetting of solid islands on parallel nano-grooves", *EPL*, 86 **2009**.

[2] M. Ignacio, P. Smereka, Y. Saito and O. Pierre-Louis, "Wetting of elastic solids on nano-pillars", *PRL*, 112, **2014**. [3] M. Ignacio and O. Pierre-Louis, preprint, **2014**.

ETUDE DE LA MIGRATION SPONTANEE DE PARTICULES D'OR SUR UNE SURFACE VICINALE DE SILICIUM (111)

Stefano CURIOTTO, Frédéric LEROY, Fabien CHEYNIS, Pierre MÜLLER

CINaM, Aix Marseille Université, UMR CNRS 732, Campus de Luminy, 13288 Marseille CEDEX

Auteur contact : curiotto@cinam.univ-mrs.fr

Mots clés : Or, Silicium, LEEM, Auto-propulsion

La migration spontanée de particules sur une surface est un phénomène fascinant qui connaît un regain d'intérêt récent. Nous nous intéressons ici au cas de particules d'or déposées sur une surface de silicium. L'étude expérimentale par microscopie à électrons lents, du mouvement spontané de particules d'or lors du dépôt d'or sur une surface vicinale de silicium portée à haute température, met en évidence l'origine chimique de la migration [1]. Plus précisément les gouttelettes d'or liquide tendent à dissoudre le silicium sous-jacent afin d'atteindre la composition de l'eutectique AuSi. La dissolution s'effectuant préférentiellement en bordure de marche, les gouttelettes migrent sur la surface en dissolvant les marches et, de ce fait, en effectuant un mouvement ascendant perpendiculaire aux marches. Les détails du mécanisme de diffusion dépendent de la taille des gouttes et de la vicinalité de la surface. Ainsi une petite goutte sur une surface faiblement vicinale effectuera-t-elle un mouvement continu, alors qu'une goutte de taille plus importante se déplacera-t-elle par un mécanisme de « stick and slip » alternant ainsi période de mobilité avec dissolution de Si et périodes de repos pendant lesquelles la composition chimique de la particule s'éloigne de la stœchiométrie d'équilibre de l'eutectique. C'est cet écart à la stœchiométrie qui joue le rôle de force motrice à l'origine du mouvement spontané. Des lois de comportement décrivant la vitesse d'une particule seront proposées et théoriquement justifiées. Les résultats expérimentaux obtenus sur différents faces vicinales seront également discutés avec une attention particulière pour la face Si(001) sur laquelle aucun mouvement spontané n'est observé.

Référence :

[1] S. Curiotto, F. Leroy, F. Cheynis, P. Müller, *Surface Science*. **2015**, 362,1-8.

L'ÉPITAXIE SÉLECTIVE : UNE PLATEFORME D'INTEGRATION POUR LES APPLICATIONS PHOTONIQUES

Jean DECOBERT

III-V Lab, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France

contact : jean.decobert@3-5lab.fr

Mots clés : SAG, MOVPE, PIC, MQW, CWDM, QPSK

L'épithaxie sélective (**SAG** pour Selective Area Growth) par épithaxie en phase vapeur aux organométalliques (**MOVPE** pour MetalOrganic Vapor Phase Epitaxy) a fait l'objet d'études depuis maintenant plus de trente ans. Cette technique continue d'attirer beaucoup d'intérêt car les champs possibles d'application se sont constamment diversifiés. En particulier, la SAG est un outil efficace pour l'intégration monolithique de fonctions photoniques actives et passives sur substrat InP, ouvrant la voie à la réalisation de circuits photoniques intégrés (**PIC** pour Photonic Integrated Circuit), performants et à coût réduit. Depuis les travaux pionniers des années 80, des efforts considérables ont été menés pour analyser les données expérimentales. Ceci a été nécessaire pour modéliser les mécanismes de croissance et finalement permettre des schémas d'intégration de plus en plus complexes, surtout pour les besoins des télécommunications.

Le principe de la SAG par MOVPE repose sur l'utilisation de substrats structurés, partiellement recouverts de masques diélectriques bloquant la croissance. A température épithaxiale, les atomes, issus de la décomposition des précurseurs, ne peuvent s'adsorber sur le matériau amorphe (on parle alors de sélectivité). Ils diffusent en phase vapeur et à la surface du masque pour se déposer au proche voisinage de ces masques diélectriques, créant de ce fait des surcroissances très localisées. Par une optimisation précise des tailles et formes des masques, on peut ajuster finement les épaisseurs (et même les compositions) des alliages déposés en tout point du substrat. Cette approche est particulièrement efficace pour les structures à base de multi-puits quantiques (**MQW** pour Multiple Quantum Well) où les transitions électroniques dépendent essentiellement des épaisseurs de puits. Il est donc possible de définir, en une seule étape d'épithaxie, des matériaux avec différentes énergies de bande interdite (bandgap) ce qui simplifie considérablement les procédés de fabrication. On comprend dès lors pourquoi la SAG a été très utilisée, dès les années 90, pour l'intégration dite "longitudinale" (dans la direction du guide optique) de composants clefs tels que des: modulateurs électro-absorbants, lasers, amplificateurs optiques et guides passifs. Plus récemment, l'intégration dite "transversale" a encore élargi les possibilités d'intégration. Dans cette approche, plusieurs composants juxtaposés offrent une gamme continue de différentes longueurs d'onde, par exemple pour les barrettes de lasers des standards **CWDM** (pour Coarse-Wavelength Division Multiplexing). En combinant par SAG plus de 20 fonctions photoniques et 6 bandgaps différents, le III-V Lab a présenté pour la première fois un transmetteur optique **QPSK** (pour Quadrature Phase Shift Keying) générant des formats de modulations complexes.

Actuellement, la littérature en optoélectronique a largement migré de l'épithaxie et des procédés de fabrication vers les dispositifs et systèmes. Même si l'on enregistre récemment des progrès significatifs en caractérisation et modélisation de la SAG, essentiellement au travers de travaux académiques, le silence règne sur l'usage qu'il est réellement fait de cette technique par les acteurs industriels du domaine, signe, s'il en est, de la maturité de la SAG...

RBS ET CANALISATION : LA DIFFUSION ELASTIQUE D'IONS REVISITEE DANS LA LUMIERE DES NANOSCIENCES

Ian Vickridge^{1,2}, Denis Jalabert^{3,4}

¹Sorbonne Universités, UPMC, et ²CNRS, UMR 7586, INSP, F75005, Paris, France

³Univ. Grenoble Alpes, F38000 Grenoble France

⁴Laboratoire d'études des matériaux par microscopie avancée CEA/INAC/SM2M/LEMMA,
F38054 Grenoble France

Auteur contact : ian.vickridge@insp.jussieu.fr, denis.jalabert@cea.fr

Mots clés : Rutherford Backscattering Spectroscopy; ion channeling ; Medium Energy Ion Scattering

L'exploitation de la diffusion élastique des ions rapides – la Rutherford Backscattering Spectrometry RBS - pour l'analyse de la composition et de la structure (par la canalisation de particules dans de systèmes avec ordre à grande distance) de couches minces a joué depuis quelques décennies un rôle important dans leur caractérisation. Sa résolution en profondeur d'environ 10nm, et sensibilité pouvant atteindre la centième de monocouche, avec détermination de la composition absolue, lui ont assuré sa place à côté des méthodes de diffraction, la microscopie électronique et le SIMS. Mais les besoins de caractérisation de systèmes nanostructurés posent de nouveaux défis pour la RBS. Après un bref rappel de la RBS conventionnelle, et quelques exemples d'astuces qui lui ont permis déjà de relever certains de ces défis, nous présenterons des évolutions instrumentales et de traitement de données qui offrent de nouvelles possibilités de caractérisation des nanosystèmes.

Une évolution instrumentale majeure, est l'incorporation de détecteurs de particules à très haute résolution en énergie dans des systèmes à ultra-vide. La haute résolution en énergie se traduit par une haute résolution en profondeur – subnanométrique dans des cas favorables. Dans le cas des détecteurs électrostatiques, utilisés dans la Medium Energy Ion Scattering MEIS, il est également possible de déterminer dans une seule mesure la distribution angulaire de particules diffusées, facilitant des études de la canalisation de particules *diffusées* – le blocking. Nous illustrerons ces nouvelles possibilités avec des exemples d'études récentes sur des profils de contraintes dans des couches nanométriques, des super-réseaux, et des nanofils.

La physique à la base de la RBS et la MEIS est très bien connue, mais les outils de modélisation des spectres obtenus sont restés assez élémentaires pendant de longues années. Depuis quelques années, de nouveaux outils de traitement de spectres ont permis de pousser leur interprétation jusqu'aux limites déterminées par la statistique des mesures. Dans ces cas, il est possible de tirer des conclusions robustes sur la nature de systèmes dont la structure est *a priori* trop fine pour la RBS.

Enfin, nous présenterons des développements de détecteurs de particules de très grand angle solide, qui devraient permettre l'obtention de spectres de très grande précision, et l'application de la RBS sur des systèmes, tels que les cristaux fragiles ou des couches organiques, sensibles aux dégâts induits par le faisceau lors d'analyse.

ANALYSE QUANTITATIVE PAR DIFFRACTION DES RAYONS X DES DEFAUTS PLANS DANS GaP/SI POUR LA PHOTONIQUE SUR Si

Yanping WANG¹, Tra Thanh NGUYEN¹, Antoine LÉTOUBLON¹, Charles CORNET¹, Nicolas BERTRU¹, Nathalie BOUDET², Julien STOCOLNA³, Anne PONCHET³, Jack EVEN¹, Alain LE CORRE¹, Olivier DURAND¹

1: Université Européenne de Bretagne, INSA, FOTON-OHM, UMR 6082, F-35708 Rennes, France

2: CRG-D2AM, ESRF & Inst. Néel, CNRS-UJF, 25 Av des Martyrs, 38042 Grenoble, France

3: CEMES-CNRS, Université de Toulouse, 29 rue J. Marvig, BP94347 Toulouse cedex 04, France

Auteur contact: yanping.wang@insa-rennes.fr

Mots clés : Diffraction des Rayons X, Micromacles, Antiphases, GaP/Si

L'hétéroépitaxie de GaP sur silicium a été proposée dans le contexte de l'intégration monolithique III-V sur substrats Si [1]. Cependant, la formation de défauts plans, parois d'antiphase (APB) et micromacles (MT), est difficile à éviter [1, 2]. La diffraction des rayons X (XRD), très sensible à ce type de défauts, nous a permis d'établir des méthodes de quantification, fiables et rapides.

Les figures de pôles (Fig.1 a) permettent une quantification du volume total maclé dans la couche GaP [2]. L'observation de composantes élargies aux pieds des pics faibles, (002) (Fig.1 b&c) et (006) ont permis d'extraire, par une analyse de type Williamson-Hall, des longueurs de corrélation en rapport avec les distances caractéristiques entre APB observées en TEM.

En conclusion, la diffraction des rayons X s'est révélé être un outil efficace et indispensable dans l'optimisation des conditions de croissance de GaP/Si.

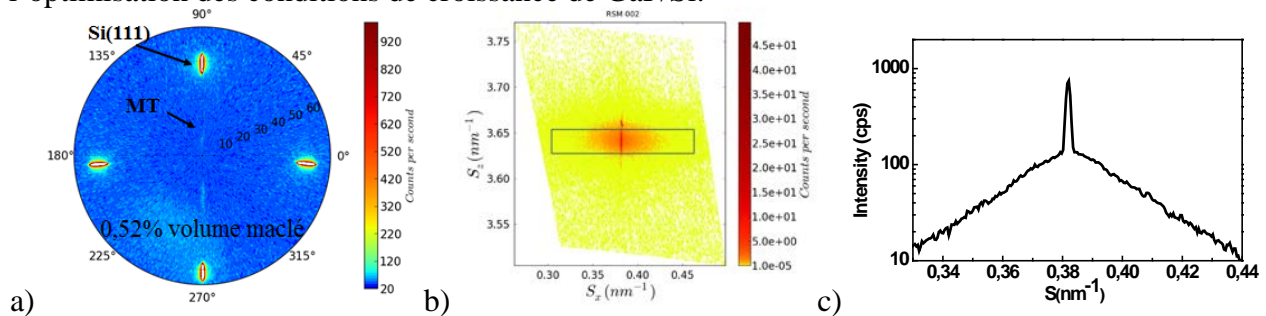


Figure 1 a) figure de pôles (45 nm de GaP/Si); b) cartographie d'espace réciproque autour de la raie GaP(002); c) scan extrait selon la projection sur S_x dans la zone rectangulaire (fig b).

Remerciement : Nous remercions V. Demange, ISCR pour l'accueil en XRD ainsi que l'ANR (projet OPTOSI, SINPHONIC et MENHIRS).

Références :

- [1] T. Nguyen Thanh, C. Robert, *J. Appl. Phys.* **2012**, **112**, 053521.
- [2] T. Quinci, J. Kuyyalil, *J. Cryst. Growth*, **2013**, 380, 157-162.

Site-controlled InAs quantum dots : advances and challenges

Paola ATKINSON¹

1: INSP UMR7588 CNRS ó Sorbonne Universités, Université Pierre et Marie Curie, Paris 75005.

Mots clés : InAs, quantum dots, e-beam lithography

The growth of InAs quantum dots on GaAs is a strain-driven process, where the dots form spontaneously once a critical thickness has been reached. There are a variety of ways the nucleation position can be controlled ó by locally modifying the underlying step density, substrate curvature or underlying strain. We discuss here a method increasingly widely used, where an ex-situ nanohole-patterned substrate is used to direct the dot nucleation [1]. We show that it is possible to achieve high quality site-controlled dot photoluminescence, with record single dot linewidth of 11 μeV [2].

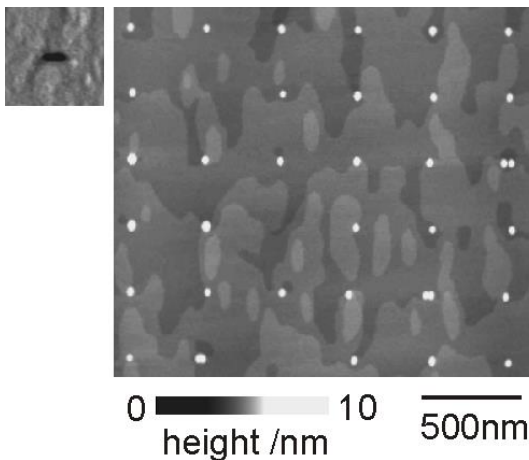


Figure 1: Atomic force microscopy image of a patterned hole after GaAs buffer overgrowth (right) and an array of site controlled InAs dots grown over the patterned holes(left) [1]

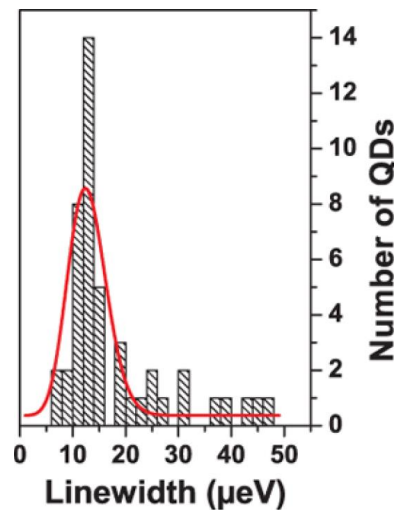


Figure 2: Histogram of single site-controlled dot linewidths [2]

Although successful in assuring the position of single quantum dots, or quantum dot pairs, at a desired location with positioning accuracy of typically $< 50\text{nm}$, there still remain challenges to be overcome: namely the impact of size variations in the initial patterned holes on the subsequent pattern occupancy, and the effect of the patterned regrowth interface on the dot photoluminescence. We discuss here in some detail these two challenges and the growth strategies which may overcome them.

Références :

- [1] P. Atkinson, O. G. Schmidt, S. P. Bremner and D. A. Ritchie, *CR Physique* **9** 788 (2008)
- [2] K. D. Jöns, P. Atkinson, M. Heldmaier, S. M. Ulrich, O. G. Schmidt and P. Michler, *Nano Letters* **13** 126 (2013)

AUTO-ORGANISATION DE FILMS DE COPOLYMERES A BLOCS EN FILMS MINCES

Guillaume FLEURY¹, Karim AISSOU¹, Muhammad. MUMTAZ¹, Xavier CHEVALIER², Célia NICOLET², Christophe NAVARRO², Ahmed GHARBI³, Maxime ARGOUD³, Patricia PIMENTA-BARROS³, Raluca TIRON³, Cyril BROCHON¹, Éric CLOUTET¹, Georges HADZIIOANNOU¹

1: LCPO, Université Bordeaux-CNRS, B8 avenue des Facultés, 33405 Talence cedex, France 2: ARKEMA FRANCE, Route Nationale 117, BP34- 64170 Lacq, France 3: CEA-LETI, MINATEC Campus, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble cedex 9, France

Auteur contact : gfleury@enscbp.fr

Mots clés : copolymères à blocs ; auto-assemblage dirigé ; lithographie

Les copolymères à blocs apparaissent comme d'excellents candidats pour des applications en lithographie avancée puisque leurs capacités d'auto-assemblage permettent de créer des structures périodiques présentant des périodicités à l'échelle nanométrique. Ainsi la lithographie assistée par l'auto-assemblage dirigé de copolymères à blocs est une des méthodologies les plus prometteuses afin de continuer la miniaturisation des composants électroniques et de stockage de l'information [1]. Cette technologie combine la création d'un réseau de guidage par des méthodes descendantes (photolithographie ou lithographie e-beam) avec des matériaux de type copolymères à blocs pour la génération ascendante d'un réseau densifié [2]. Une première génération de matériaux basée sur le poly(styrène-*bloc*-méthyl méthacrylate) (PS-*b*-PMMA) a été développée pour des applications de rétrécissement ou de multiplication de contacts. Les résultats synthétisant cette approche seront exposés durant cet exposé [3]. Néanmoins la demande continue en miniaturisation de l'industrie rend nécessaire le développement de nouveaux matériaux de type copolymères à blocs permettant d'obtenir des dimensions critiques inférieures à 10 nm. Les travaux résumant l'auto-assemblage en films minces de ces nouveaux matériaux qui permettent d'obtenir des réseaux avec des densités surfaciques supérieures au Teradot.inch⁻² seront présentés.

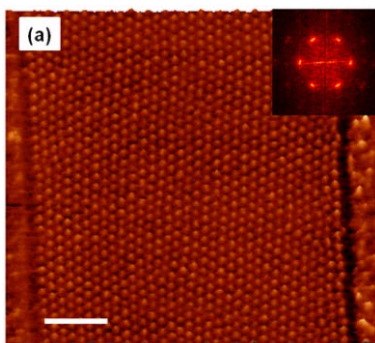


Figure 1: Auto-assemblage de copolymères à blocs sous la forme de cylindres orientés perpendiculairement au substrat présentant une période de 13 nm. Echelle 100 nm.

Références :

[1] The International Technology Roadmap for Semiconductors, www.irts.net. [2] (a) R. A. Segalman *et al.*, *Adv. Mater.* **2001**, *13*, 1152–1156. (b) R. Ruiz *et al.*, *Science* **2008**, *321*, 936–939. [3] (a) X. Chevalier *et al.*, *J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS* **2013**, *12*, 031102. (b) R. Tiron *et al.*, *Proc. SPIE 8323* **2012**, 832323 (c) P. Pimenta-Barros *et al.*, *Proc. SPIE 9054* **2013**, 90540G.

La VPE aux Hydrures (HVPE) : le procédé inattendu pour la croissance rapide de nanofils III-V(N) à rapport de forme inédit

Yamina ANDRE¹, Dominique CASTELLUCI¹, Evelyne GIL¹, Agnès TRASSOUDAIN¹, Geoffrey AVIT¹, Zhenning DONG¹, Kaddour LEKHAL¹, Reda M. RAMDANI¹, Elissa ROCHE¹, Joël LEYMARIE¹, Guillaume MONIER¹, François REVERET¹, Christelle VARENNE¹, Christine LEROUX², Vladimir G. DUBROVSKII³, Catherine BOUGEROL⁴, Frank GLAS⁵, Jean-Christophe HARMAND⁵

¹ Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, CNRS, UMR 6602, F-63000 Clermont-Ferrand

² Université de Toulon, IM2NP, CNRS, UMR 7334, 83957 La Garde Cedex

³ St. Petersburg Academic Univ., Ioffe Physical Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

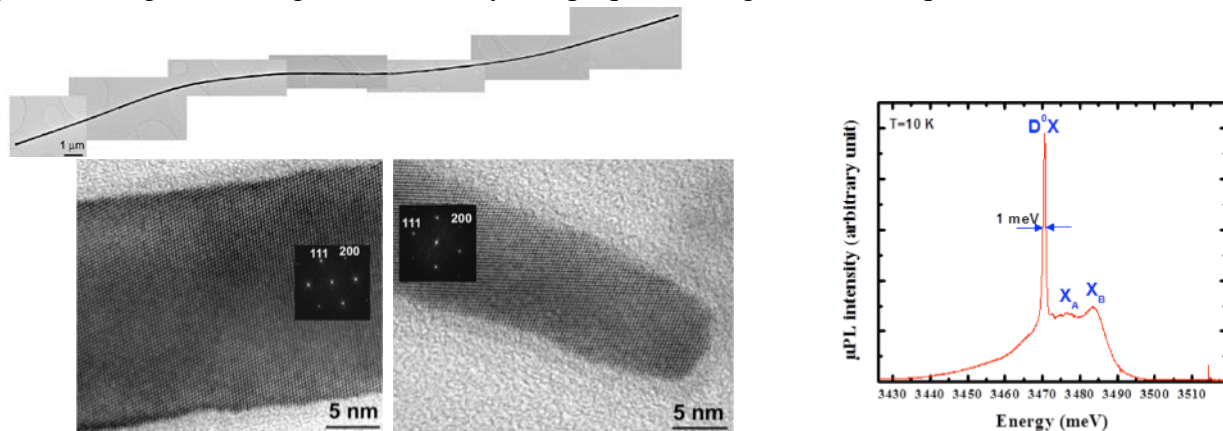
⁴ CEA-CNRS-UJF Group, Nanophysique et Semiconducteurs, Institut Néel CNRS, 38042 Grenoble

⁵ CNRS-LPN, Route de Nozay, 91460 Marcoussis

Auteur contact : Evelyne.GIL@univ-bpclermont.fr

Mots clés : HVPE, VLS (vapeur-liquide-solide), nanofils, GaAs, GaN

L'épitaxie en phase vapeur aux hydrures (HVPE) exploite de fortes pressions partielles de précurseurs de croissance gazeux chlorés III-Cl et hydrures V-H₃. Les nanofils synthétisés par croissance catalysée VLS-HVPE présentent une morphologie à diamètre et structure cristalline constants sur des longueurs de plusieurs dizaines de microns [1]. Ils sont obtenus avec des vitesses de croissance axiale supérieures à 100 µm/h. La phase cubique zinc-blende est observée dans des nanofils de GaAs pour la première fois jusqu'à un diamètre de 10 nm [2]. La forte concentration de Ga dans la goutte Au-Ga-As empêche la nucléation à la ligne de phase triple, inhibant la formation de séquences wurtzite quel que soit le diamètre du nanofil. Les nanofils GaN présentent les mêmes caractéristiques, phase wurtzite pure sur de grandes longueurs, les analyses optiques témoignant de leur qualité structurale [3].



En haut : Image TEM d'un nanofil de GaAs (diamètre 120 nm, longueur 50 µm). En bas, gauche et centre : Images HRTEM de nanofils de GaAs de diamètres respectifs 22 et 10 nm avec transformées de Fourier (structure cubique zinc-blende). A droite : Microphotoluminescence d'un nanofil de GaN à 10 K.

Références :

- [1] M.R. Ramdani et al., *Nano Letters* **2010**, 10, 1836-1841.
- [2] E. Gil et al., *Nano Letters* **2014**, 14, 3938-3944.
- [3] G. Avit et al., *Nano Letters* **2014**, 14, 559-562.

STATISTIQUE DE NUCLEATION SOUS-POISSONNIENNE : DES EXPERIENCES SUR NANOFILS AUX CALCULS ANALYTIQUES

Frank GLAS

CNRS - Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France
frank.glas@lpn.cnrs.fr

Mots clés : Nucléation, nanofils, nanophase, statistique sous-poissonnienne, temps d'attente

Nous avons précédemment démontré expérimentalement l'existence d'une statistique de nucléation sous-poissonnienne lors de la croissance vapeur-liquide-solide des nanofils et l'avons modélisée numériquement [1]. Nous avons alors argué que l'anticorrélation temporelle des événements de nucléation observée résulte de l'appauvrissement cyclique de la goutte de catalyseur due à la formation rapide d'une monocouche complète de nanofil après chaque nucléation. Nous avons maintenant développé un calcul pleinement analytique de cette statistique, qui nous permet de discuter ses diverses manifestations et de mener des comparaisons quantitatives avec l'expérience

La séquence des événements de nucléation est traitée comme un processus stochastique markovien. La déviation par rapport à la statistique poissonnienne (sans corrélation) est quantifiée par un seul paramètre γ , rapport des probabilités de nucléation immédiatement après et avant nucléation. Nos calculs reposent sur une détermination auto-cohérente de deux densités de probabilité de la probabilité de nucléation, l'une restreinte aux instants de nucléation, l'autre globale. De ces densités, nous dérivons d'autres quantités susceptibles de comparaison avec expériences et simulations.

Spécifiquement, nous évaluons d'abord la probabilité que se produise un nombre quelconque de nucléations dans un intervalle de temps donné (Figure). Nous calculons l'écart-type de cette distribution, qui est bien moindre que dans le cas poissonnien et sature rapidement quand l'intervalle de temps augmente [1]. Nous calculons ensuite la distribution des temps d'attente entre nucléations. Nous discutons comment ces quantités varient avec le paramètre γ , dont nous dérivons les valeurs pour des nanofils catalysés par l'or ou auto-catalysés. De façon remarquable, le resserrement marqué de la distribution des nombres de nucléations durant un intervalle temporel est compatible avec une très large distribution des temps d'attente. Ainsi, même une statistique très sous-poissonnienne n'implique aucunement que les nucléations interviennent de façon quasi-périodique. Nous discutons également les implications de ces résultats quant au contrôle ultime des hétérostructures nanofilaire.

Soulignons que ces calculs, tout juste publiés [2], sont génériques et applicables à d'autres systèmes impliquant une phase mère nanoscopique (VSS, nanotubes, nanoréacteurs...).

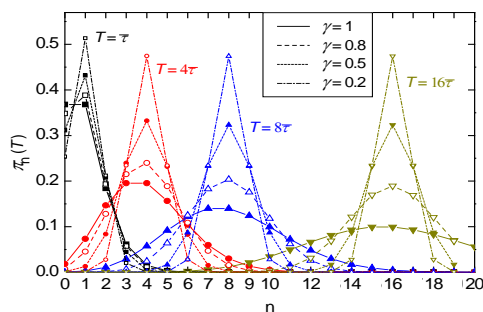


Figure : Distribution de la probabilité d'avoir n nucléations pendant un temps T égal à 1 (carrés), 4 (cercles), 8 (triangles pointe en haut) ou 16 (triangles pointe en bas) temps d'attente moyen $\bar{\tau}$, pour le processus poissonnien ($\gamma=1$; grands symboles pleins, lignes continues) et divers processus sous-poissonniens ($\gamma < 1$). Les lignes servent seulement à guider l'oeil.

[1] F. Glas, J. C. Harmand, G. Patriarche, *Phys. Rev. Lett.* **2010**, 104, 135501.

[2] F. Glas, *Phys. Rev. B* **2014**, 90, 125406.

Croissance de nanofils auto-organisés SiGe par épitaxie par jets moléculaire

A. Bebkouider¹, A. Ronda¹, T. David¹, L. Favre¹, M. Naffouti¹, M. Abbarchi¹, K. Liu¹, A. Delobbe², P. Sudraud² et I. Berbezier¹

1: CNRS, Aix-Marseille University, IM2NP, 13397 Marseille Cedex 20, France

2 : Orsay Physics, 13710 Fuveau, France

Auteur contact : isabelle.berbezier@im2np.fr

Mots clés : MBE, croissance, nanofil, FIB, catalyseur, dépôt galvanique

Du fait de leur facilité de fabrication et de leurs propriétés physiques uniques, les nano-fils (NFs) de semi-conducteurs présentent des potentialités d'application importantes (et en particulier les nanofils cœur-coquille) comme briques élémentaires de nombreux dispositifs nano- et opto-électroniques. De plus des études théoriques récentes ont permis de montrer des effets de confinement quantique sur la structure de bande des NFs cœur-coquille mettant en évidence l'apparition d'un gap direct dans certaines conditions. Différents procédés de fabrication ont été développés pour fabriquer et organiser des NFs en épitaxie sur le silicium. Pour obtenir un meilleur contrôle de leur périodicité, localisation, rapport de forme cœur/coquille et taille, des procédés couplant l'épitaxie par jet moléculaire (EJM) et différents types de gravure ont été mis au point [1,2].

Le but de ce travail est de tirer profit d'une part de la contrainte épitaxiale radiale entre le cœur (SiGe) et la coquille (Ge) et d'autre part du confinement quantique afin d'effectuer de l'ingénierie de structure de bande.

Dans ce travail nous présentons l'élaboration de nanofils (NFs) SiGe cœur-coquille par épitaxie par jets moléculaires. La coquille riche en Ge a été fabriquée par une combinaison de dépôt MBE et d'oxydation (condensation). Les NFs SiGe sont d'abord élaborés par épitaxie par jets moléculaires sur réseaux ordonnés de catalyseurs AuSi. Le contrôle de la taille des catalyseurs AuSi, de la densité et de la position est assuré en utilisant deux procédés différents: soit par dépôt sélectif (dépôt galvanique) sur des substrats pré-patternés par FIB soit par démouillage hétérogène d'une couche mince d'or évaporée sur Si(111). La température de croissance EJM a été adaptée à la concentration de Ge ($0,05 \leq x \leq 0,15$). Des mesures PL ont été effectuées sur ces NFs, les résultats obtenus ont montré l'absence des défauts de croissance et des impuretés dans les NFs.

Références :

[1] A Benkouider, A Ronda, A Gouyé, C Herrier, L Favre, D J Lockwood, N L Rowell, A Delobbe, P Sudraud and I Berbezier, *Nanotechnology* **2014** 25 335303.

[2] M. Amato, M. Palumbo, and S. Ossicini, *Phys. Rev. B* **80**, 235333 **2009**.

Croissance et caractérisation Raman de nanofils de germanium

Mahmoud ISRAEL¹, Régis ROGEL², Alain MOREAC¹, Jean Pierre LANDESMAN¹, Laurent PICHON²

1: Institut de Physique de Rennes, UMR 6251, 35042 Rennes, France

2: Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes, Département Microélectronique et Microcapteurs, 35042 Rennes, France

Auteur contact : Mahmoud.Israel@univ-rennes1.fr

Mots clés : nanofils de germanium, croissance, analyse Raman

La croissance de nanofils de germanium, synthétisés par la méthode VLS utilisant l'or comme catalyseur et le germanium comme précurseur, est étudiée pour des températures de croissance comprises en 250 °C et 400 °C. Les résultats montrent que la croissance des nanofils monocristallin a lieu pour des températures comprises entre 260°C et 370 °C. La longueur moyenne et le diamètre moyen des nanofils augmentent avec la température de croissance respectivement jusqu'à 320°C et 345 °C, puis diminuent pour des températures supérieures. Par ailleurs, à basse température (260°C et 270 °C) les nanofils sont cylindriques, alors que pour des températures supérieures ils sont de forme conique. L'analyse par spectroscopie Raman de nanofils de germanium synthétisés à 320°C de forme conique (fig. 1) montre une intensité du spectre plus importante que pour une référence monocristalline de germanium (100). De plus, des oscillations apparaissent dans le profil d'intensité (fig. 2), cette dernière croit de la base vers la pointe alors que le volume excité diminue. Ces effets peuvent être expliqués par les modes optiques apparaissant localement (rayon incident et diffusée-Raman) selon le diamètre, la longueur d'onde et le substrat (sur lequel les nanofils sont transférés après la croissance). Ces résultats expérimentaux sont prédits à partir de simulations théoriques [1].

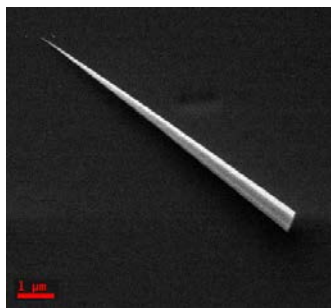


Figure 1 : image MEB d'un nanofil de Ge transféré sur un substrat de Si

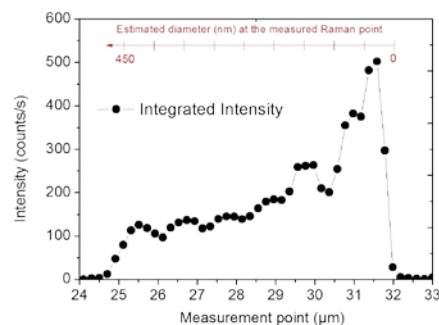


Figure 2 : profil de l'intensité Raman d'un nanofil de Ge sur un substrat « Surf » (Nanolane)

Références :

[1] L. Cao, *et al.* Physical review letters **2006**, vol. 96, p. 157402.

INTÉGRATION PARFAITE DE GaAs PAR ÉPITAXIE LATÉRALE SUR SUBSTRAT DE SILICIUM NANO-STRUCTURÉ

Charles RENARD¹, T. Molière^{1,3}, N. Cherkasin², G. Hallais¹, L. Vincent¹, D. Bouchier¹

1 Institut d'Électronique Fondamentale, UMR 8622, CNRS, Université Paris-Sud, Orsay, 91405

2 CEMES, UPR CNRS 8011, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse

3 LGEP-Supelec, UMR CNRS 8507, Plateau de Moulon, 91192, Gif sur Yvette, France

Auteur contact : charles.renard@u-psud.fr

Mots clés : Épitaxie latérale, intégration hétérogène, substrat nano-structuré, GaAs sur Si, croissance CBE.

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.

Nous verrons alors que le fait de nano-structurer la surface du substrat de silicium permet de surmonter ces différents problèmes de croissance et d'accéder à une gamme inédite d'hétérostructures sur silicium avec une qualité cristalline inégalée. La technique d'intégration que nous avons développée consiste à démarrer la croissance CBE (chemical beam epitaxy) du GaAs à partir des nano-germes de Si situé dans les nano-ouvertures, conduisant ensuite à l'épitaxie latérale du GaAs sur le masque de silice. 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 effectuées sur ces objets par diffraction de rayons X (DRX) nous indiquent que le GaAs est parfaitement relaxé et en accord d'épitaxie avec le substrat de Si. Les analyses en microscopie électronique en transmission (MET) ont confirmé qu'il n'y avait effectivement pas de dislocation ni de domaines d'antiphase présent. Toutefois, ces analyses ont aussi révélé deux plans de macles présents de manière systématique pour les croissances sur Si(001). En revanche les même croissances réalisées sur Si(111) ne présentent pas ce genre de défauts et un modèle est proposé pour expliquer cette différence.

Références :

[1] C. Renard *et al*, *Applied Physics Letters*, **2013**, 102, 191915

[2] C. Renard *et al*, *Journal of Crystals Growth*, **2014**, 401, 554-558

CROISSANCE LOCALISEE DE MATERIAUX ARSENIURES III-V PAR MOCVD SUR SUBSTRAT SILICIUM

R. CIPRO¹, M. MARTIN¹, J. MOEYAERT¹, T. BARON¹, F. BASSANI¹, V. GORBENKO^{1,2}, S. DAVID JP. BARNES², Y. BOGUMILOVICZ², N. ROCHAS², V. LOUP², C. VIZIOZ², K. YCKACHE², N. CHAUVIN³, X.Y. BAO⁴, Z. YE⁴, D. CARLSON⁴, JB PIN⁴, E. SANCHEZ⁴

¹ LTM/CNRS-CEA-LETI, 17, rue des martyrs, 38054 Grenoble, France

² CEA, LETI, Minatec Campus, 17, Avenue des Martyrs, 38054 Grenoble C, France

³ Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL)-UMR5270-CNRS, INSA-Lyon, Université de Lyon, 7 Avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne, France

⁴ AMAT, 3050 Bowers Avenue, Santa Clara, CA 95054, USA

Contact: romain.cipro@cea.fr

L'intégration de matériaux III-V sur substrat silicium représente un challenge important pour de nombreuses applications dans les domaines de la micro-, de l'opto-électronique et de la photonique. En effet, ils ont l'avantage de présenter une forte mobilité électronique et une bande interdite directe par rapport au silicium. Par exemple, ils permettraient de réaliser des canaux pour les transistors MOS basse consommation mais également des émetteurs ou capteurs efficaces de lumière. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'élaboration de semi-conducteurs III-V par MOCVD sur substrat silicium 300mm.

Nos travaux concernent la croissance directe de matériaux de type III-As dans un bâti de MOCVD Applied Materials. Les précurseurs TMGa, TMAI et TMIn ont été utilisés comme sources d'éléments III, le TBAs étant la source d'éléments V. Les propriétés physiques et structurales des couches de GaAs, AlAs, InGaAs et AlGaAs épitaxiées sélectivement sur substrat silicium ont été caractérisées par AFM, FIBSTEM, TEM, SIMS, μ PL et Cathodoluminescence. La croissance en cavité a permis la suppression des parois d'antiphase. Ainsi un signal de photoluminescence à température ambiante a été observé sur des puits quantiques d'InGaAs épitaxiés sur un buffer de GaAs inférieur à 500nm.

Nanofils de GaAs par MBE, propriétés et applications en photonique et photovoltaïque

Anna FONTCUBERTA I MORRAL¹

1: Laboratoire des Matériaux Semiconducteurs, Institut des Matériaux, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne, Suisse

Auteur contact : anna.fontcuberta-morral@epfl.ch

Mots clés : Nanofils, cellules solaires, absorption, modes photoniques

Les nanofils sont des cristaux unidimensionnels, avec un diamètre dans l'ordre de quelque dizaine de nanomètres. Grâce à cette morphologie très particulière, ils ont inspiré des nombreuses applications dans des domaines si diverses comme la biophysique, électronique, optoélectronique et photonique. Dans cet exposé nous explorons quelles configurations nous permettent d'augmenter l'absorption de la lumière. Nous traiterons le cas particulier de nanofils de GaAs disposés verticalement et horizontalement sur un substrat, et l'absorption dans le visible et proche infrarouge [1-2]. Ceci concerne des applications dans le domaine photovoltaïque et des photo-détecteurs.

Dans le cas de nanofils disposés verticalement sur un substrat, nous montrons par le biais de calculs numériques que l'absorption de la lumière peut devenir très effective pour certains diamètres du nanofil. L'augmentation de l'absorption se produit pour des énergies de photons proches du bandgap et est traduite par une augmentation de la section efficace d'absorption. Celle-ci devient bien plus grande que les dimensions physiques du nanofil. Ceci résulte en une règle pour le design de cellules solaires à base de nanofils. Il faut choisir bien le diamètre et la distance entre les fils pour que l'absorption de la lumière solaire soit maximisée [1]. Plusieurs groupes ont suivi cette approche avec des conséquents excellents résultats concernant le rendement [2,3].

Références :

- [1] P. Krogstrup et al, *Nature Photon.* **2013**, 6, 468-476.
- [2] A. Casadei et al, *Nano Lett.* **2014**, 14, 2271-2278; A. Casadei et al, *en processus de review.*
- [3] J. Wallentin et al *Science* **2013**, 339, 1057-1060.
- [4] L. Yu et al, *Scientific Reports* **2014**, 5, 4134.

Corrélation entre propriétés optiques et structurales de nano-objets uniques contenant des hétérostructures III-N

L. Rigutti¹, I. Blum¹, L. Mancini¹, D. Shinde¹, D. Hernandez Maldonado¹, W. Lefebvre¹, J. Houard¹, A. Vella¹, F. Vurpillot¹, B. Deconihout¹, G. Jacopin^{2,3}, M. Tchernycheva², C. Durand⁴, J. Eymery⁴, L. Largeau⁵, E. Galopin⁵, J.C. Harmand⁵

¹ Groupe de Physique des Matériaux, UMR CNRS 6634, University and INSA of Rouen, Normandie University, 76800 St. Etienne du Rouvray, France

² IEF, UMR CNRS 8622, University of Paris Sud 11, 91405 Orsay, France

³ Laboratoire d'Optoélectronique Quantique, EPFL, CH-1015 Lausanne, Switzerland

⁴ CEA/CNRS/Université Joseph Fourier, CEA, INAC, SP2M, 38054 Grenoble, France

⁵ LPN, UPR 20 CNRS, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France

Auteur contact : lorenzo.rigutti@univ-rouen.fr

Mots clés : Hétérostructures III-N, Microscopie Electronique, Photoluminescence, Sonde Atomique Tomographique

La possibilité d'étudier un même nano-objet à l'aide de techniques de spectroscopie optiques d'émission et de microscopie en haute résolution permet d'accéder à un niveau très élevé d'information. Dans cette contribution, deux exemples marquants d'études corrélées effectuées sur des nanofils hétérostructurés III-N vont être illustrés.

Le premier exemple est l'étude corrélée par spectroscopie de micro-photoluminescence (μ -PL) et par microscopie électronique en haute résolution (HR-STEM) de plusieurs nanofils cœur-coquille GaN-AlN. Dans ces structures, la coquille externe déforme le cœur et y induit ainsi une modification des états électroniques et des transitions excitoniques. L'étude corrélée permet d'établir l'état de déformation du cœur, et permet l'interprétation du décalage des énergies d'émission de PL en termes de modification de la structure des bandes de valence [1].

Une deuxième approche est basée sur la corrélation entre μ -PL, HR-STEM et de la sonde atomique tomographique (SAT). La SAT, en particulier, permet la mesure de la composition chimique d'une hétérostructure en trois dimensions, avec une justesse qui peut s'appuyer sur la caractérisation STEM. Cette approche a été appliquée à une portion de microfil contenant des puits quantiques InGaN/GaN. Les résultats montrent que les énergies des raies de μ -PL peuvent être interprétées en tenant compte de la forte inhomogénéité en In dans les puits quantiques, décelée par SAT, tandis que leur polarisation se corrèle avec la cristallographie étudiée par HR-STEM [2].

Références :

[1] L. Rigutti et al., *Phys. Rev. B.* **2011**, 83(15), 155320.

[2] L. Rigutti et al. *Nano Lett.* **2014**, 14(1), 107-114

***In situ* X-ray scattering investigations on SiGe nanowires: growth, strain and dance**

Tao ZHOU¹, Valentina CANTELL^{II}, Olivier ULRICH¹, Olivier GEAYMOND², Nils BLANC²
and Gilles RENAUD¹

1 : Univ. Grenoble Alpes, CEA/INAC/SP2M, F-38000 Grenoble, France

2 : Institut Néel, CNRS Univ. Grenoble Alpes, F38000 Grenoble France

Author contact: gilles.renaud@cea.fr

Mots clés : X-ray diffraction ; Nanowire ; bending

The INS (In situ - Nanostructure - Surface/interface) end station of the BM32 beamline at the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) has been used for years to analyse the structural properties of nanoparticles *in situ*, in ultra-high vacuum (UHV), during their growth by molecular beam epitaxy, combining Grazing Incidence X-ray Diffraction (GIXD) and Grazing Incidence Small Angle X-ray Scattering (GISAXS) [1]. An UHV-Chemical Vapour Deposition (CVD) injection system has been recently added to allow investigation of the growth of Si/Ge nanowires (NWs) using disilane and digermane gas sources [2].

Results on the growth of Si NWs on Si(111) will first be presented, as a demonstration of the *in situ* capability of the instrument. The real time NWs length and their size distribution can be measured with X-ray techniques without removing the sample from the UHV chamber. The deposition of the metal catalysts and the injection of the precursor gases are carried out side by side, which makes it possible to probe the very early stage of growth. The well-known sidewall dodecagon sawtooth faceting is clearly recognizable from reciprocal space mapping of both GIXD and GISAXS.

The strain relaxation in Si-Ge core-shell NWs will then be presented. The samples are kept under UHV during the entire process to avoid oxidation and contamination. The level of strain is measured *in situ* as a function of the overgrowth amount. The composition distribution in the heterostructure is also determined using anomalous X-ray scattering [3].

Finally, and most importantly, results on the deformation of as-grown NWs by oriented deposition of various materials on one side of the NWs will be presented. The NWs dance back and forth with increasing amount of deposition as revealed by live stationary measurements with a 2D detector. The magnitude of the stress can then be deduced by analysing dedicated reciprocal space maps [4]

Références :

- [1] G. Renaud, R. Lazzari, F. Leroy *Surf. Sci. Rep.* **2009** 64, 255.
- [2] V. Cantelli, O. Geaymond, O. Ulrich, T. Zhou, N. Blanc and G. Renaud, submitted.
- [3] T. Zhou, O. Geaymond, G. Renaud, in preparation.
- [4] T. Zhou, O. Robach, G. Renaud, in preparation.

Les séquences d'empilement des nanofils III-V sont corrélées

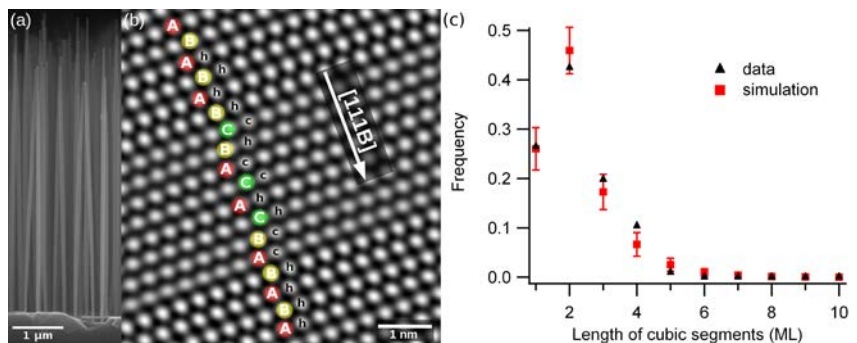
Giacomo Priante, Jean-Christophe Harmand, Gilles Patriarche et Frank Glas

CNRS – Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, Route de Nozay, 91460 Marcoussis

Contact : giacomo.priante@lpn.cnrs.fr

Mots clés : nanofils, structure cristalline, corrélations, EJM, nucléation

Quels facteurs régissent la sélection de phase cristalline dans les nanofils est une question de base ayant des implications tant sur le contrôle de la structure des nanofils que sur la conception de nouvelles hétérostructures. Les semi-conducteurs III-V massifs adoptent la structure cubique (blende de zinc, ZB), à l'exception des nitrures qui cristallisent dans la structure hexagonale (wurtzite, WZ). Ces deux structures se distinguent par l'empilement des bicouches III-V le long de la direction [111]. Dans les nanofils, l'origine du mélange ZB/WZ a été très étudiée ces dernières années. Il est généralement reconnu que l'empilement hexagonal est thermodynamiquement favorisée dans les nanofils très minces (~10 nm), alors que dans les nanofils plus épais, sa formation est due à la cinétique de croissance.¹ Toutefois, d'autres facteurs peuvent entrer en jeu, par exemple les interactions à courte distance entre monocouches. Jusqu'à présent, très peu d'études ont abordé cette question. Notamment, Kohno *et al.* ont étudié des nanofils de SiC par microscopie électronique en transmission à haute résolution (HRTEM). Ils ont conclu que la séquence d'empilement observée n'était «pas un simple processus aléatoire ni déterministe».² Johansson *et al.*,³ afin de calculer les probabilités de formation des polytypes dans les nanofils III-V, ont inclus des interactions à courte distance au moyen du modèle ANNNI, déjà appliqué avec succès pour décrire le polytypisme de SiC massif. Nous présentons ici une analyse détaillée de la structure d'un nanofil de phosphore d'indium et l'interprétons statistiquement.⁴ Par de simples considérations probabilistes, nous démontrons l'existence de corrélations entre les couches, qui influencent l'empilement durant la croissance. Nous montrons qu'on peut rendre compte de ces corrélations dans la théorie classique de la nucléation, sous réserve de quelques modifications. En effet, un accord quantitatif n'est obtenu que si l'énergie du bord du germe dépend non seulement de sa position cristallographique (cubique ou hexagonale), mais aussi de la position des couches précédentes. Nous constatons donc que le modèle ANNNI, bien qu'attrayant par sa simplicité, ne suffit pas à expliquer le mélange de phases dans nos nanofils. Nous spéculons sur le rôle possible des flancs du nanofil dans la médiation de l'interaction.



Références :

- [1] F. Glas, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **2007**, 99, 146101
- [2] H. Khono, *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **2009**, 78, 044601
- [3] J. Johansson, *et al.*, *ACS Nano* **2012**, 6, 6142
- [4] G. Priante, *et al.*, *Phys. Rev. B* **2014**, 89, 241301(R)

Formation mechanisms of well-ordered ZnO nanowires and related heterostructures

Vincent CONSONNI^{1,2}

1: Univ. Grenoble Alpes, LMGP, F-38000, Grenoble, France

2: CNRS, LMGP, F-38000, Grenoble, France

Auteur contact : vincent.consonni@grenoble-inp.fr

Mots clés : ZnO nanowires, nucleation, polarity, selective area growth, heterostructures.

In the field of photovoltaics, ZnO nanowires (NWs) are considered as promising building blocks in one-dimensional radial heterostructures when covered with an absorbing shell for nanostructured solar cells. They offer advantages over planar thin films such as improved crystallinity, efficient light trapping, radial separation and axial transport of charge carriers. The ability of ZnO to grow as NWs by low-cost and surface scalable deposition techniques such as the low-temperature chemical bath deposition (CBD) process for instance is therefore valuable. However, although widely investigated, the physical and chemical processes governing the CBD process are still not completely understood. This results in an insufficient control of their structural properties and uniformity that is detrimental for integrating ZnO NWs in nanostructured solar cells.

In this work, the nucleation and growth mechanisms of ZnO NWs by CBD are discussed in details with a special emphasis on the effects of ZnO seed-layer morphology (roughness, nanoparticle diameter, crystal orientation and polarity, ...) and of chemical precursors in solution [1-3]. Furthermore, the combination of selective area growth using electron beam lithography with CBD is demonstrated by growing both O- and Zn-polar ZnO NWs with high structural uniformity (i.e., length, diameter, period) and optical quality on pre-patterned O- and Zn-polar ZnO single crystals, respectively [3]. The physical properties of the resulting well-ordered ZnO NWs are presented and strongly depend on the polarity [3]. Eventually, the optical absorption process of heterostructures made from ZnO / II-VI semiconductor core shell NW arrays for nanostructured solar cells are determined by optical simulation using rigorous coupled wave analysis and the structural properties of these heterostructures are reported [4].

[1] S. Guillemin, V. Consonni, E. Appert, E. Puyoo, L. Rapenne, H. Roussel, *J. Phys. Chem. C* **2012**, 116, 25106-25111.

[2] S. Guillemin, L. Rapenne, H. Roussel, E. Sarigiannidou, G. Brémond, V. Consonni, *J. Phys. Chem. C* **2013**, 117, 20738-20745.

[3] V. Consonni, E. Sarigiannidou, E. Appert, A. Bocheux, S. Guillemin, F. Donatini, I.C. Robin, J. Kioseoglou, F. Robaut, *ACS Nano* **2014**, 8, 4761-4770.

[4] J. Michallon, D. Bucci, A. Morand, M. Zanucoli, V. Consonni, A. Kaminski-Cachopo, *Optics Express* **2014**, 22, A1174.

Characterization of doping in ZnO nanowires for optoelectronic applications by scanning probe microscopy

L. Wang¹, J. Laurent¹, J.M. Chauveau³, V. Sallet⁴, F. Jomard⁴, R. Brenier⁵, G. Brémond^{1,2}

1. Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL), UMR-5270, Université de Lyon, INSA LYON, 7 avenue Jean Capelle 69621 Villeurbanne, France

2. Centre Lyonnais de Microscopie, CLYM, INSA Lyon

3. Centre de Recherche sur l'Hétéro-Epitaxie et ses applications (CRHEA), CNRS, rue Bernard Grégory, 06560 Valbonne, France

4. Groupe d'étude de la matière condensée (GEMaC), 45 avenue des Etats Unis, 78035 Versailles, France

5. Institut Lumière Matière (ILM), UMR-5306, Université de Lyon, UCB Lyon 1, 43 boulevard du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne, France

Auteur contact : georges.bremond@insa-lyon.fr lin.wang@insa-lyon.fr

Mots clés : SCM, SSRM, ZnO nanowires, carrier/dopant profile

ZnO is a wide band-gap II-VI semiconductor (3.4 eV) very useful for diverse applications such as optoelectronics and sensor devices. The development of ZnO technology suffers from a lack of p-type doping feasibility. At the same time, with the development of nano science and technology, semiconductor nanowires open new fields of investigation in fundamental physics and offer opportunities for the future generation of these applications. This strongly request methods to quantitatively determine the carrier/dopant profile in such one-dimensional NW structure. In the last two decades, scanning capacitance microscopy (SCM) and scanning spreading resistance microscopy (SSRM) have been developed as well-recognized techniques for two-dimensional (2D) carrier/dopant profiling in semiconductor materials and devices. The objective of our work is to electrically characterize the doping of ZnO nanostructures as NWs with these two novel techniques, to detect the local carrier type and determine its concentration, with the potentiality to achieve nano ZnO p-n junction for LED application. In the ideal case, if the local p type of ZnO is achieved, nano ZnO p-n junction can be realized and its electroluminescence properties for LED application are expected to bring progress in LED industry.

We have developed a process of NW sample preparation, based on dip-coating filling of NWs field, for their characterization by SCM and SSRM. Various tools such as SEM, ellipsometry and AFM are used to monitor and control the process. As results, ZnO NWs can be well distinguished from the silica matrix in SCM and SSRM.

For the purpose of carrier/dopant profiling, calibration methodology is involved. Cross-sectional SCM and SSRM were performed on Ga-doped MBE ZnO multi-layer structures consisting of layers with various Ga concentrations. Good contrasts of SCM signal and SSRM signal between the ZnO layers with different Ga doping concentrations were obtained. Through comparison with dopant depth profiles from SIMS measurement, the dynamic ranges of SCM and SSRM for dopant profiling in ZnO are identified to be up to 10^{19} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} , respectively. Calibration curves were established to acquire the carrier concentration in the material. Our approach to carrier/dopant profiling for ZnO NWs structure could be generalized to other NW semiconductors.

References

- [1] C.C. Williams, *Annu. Rev. Mater. Sci.* 29, 471 (1999).
- [2] R. A Oliver, *Reports Prog. Phys.* 71, 076501 (2008).
- [3] P. De. Wolf et al, *Appl. Phys. Lett.* 66, 1530 (1995)

INCORPORATION DE L'AZOTE DANS LES NANOFILS ZnO

Emir ZEHANI¹, Vincent SALLET¹, Said HASSANI¹, Corinne SARTEL¹, Alain LUSSON¹,
Pierre GALTIER¹, Nooshin AMIRIFAR², Rodrigue LARDE², Etienne TALBOT²,
Philippe PAREIGE³, Fabrice DONATINI³, Julien PERNOT³.

1: Groupe d'Etude de la Matière Condensée (GEMAC), CNRS-UVSQ, 78035 Versailles.

2: Groupe de Physique des Matériaux (GPM), INSA-CNRS-Université de Rouen,
76801 St Etienne du Rouvray.

3: Institut NEEL- CNRS, Université de Grenoble-Alpes, 38042 Grenoble.

Auteur contact : emir.zehani@uvsq.fr

Mots clés : ZnO, nanofils, dopage, MOCVD

Il y a aujourd'hui un intérêt très fort de la communauté scientifique sur le sujet des nanostructures unidimensionnelles à base d'oxyde de zinc (ZnO), cela pour des applications dans les domaines des nano-LEDs, -générateurs, -capteurs ou encore nano-transistors. Au-delà de l'avantage d'une plus grande surface développée, une meilleure qualité cristalline est souvent obtenue sur les nanofils ZnO, en comparaison avec les couches minces, pouvant ainsi améliorer les capacités de dopage de type p de ce matériau, dopage p qui constitue encore un verrou technologique. L'effet de la surface sur les propriétés électriques est aussi à considérer.

Dans ce travail, la croissance MOCVD (metalorganic chemical vapor deposition) et le dopage azote in situ de nanofils ZnO sont présentés. Les nanostructures sont épitaxiées verticalement sur substrat saphir ainsi que sur substrat ZnO. L'évolution de la morphologie et des mécanismes de croissance est étudiée par microscopie à balayage. Des mesures optiques montrent des signatures spécifiques des dopants. En particulier, la spectroscopie Raman révèle des raies additionnelles à 275 et 580 cm^{-1} , et la photoluminescence à 4K identifie une transition "paires donneur-accepteur (DAP)", à 3,24 eV. Les deux techniques rendent compte d'une même concentration croissante des dopants le long du nanofil (vers le sommet). L'incorporation effective des atomes d'azote est mesurée par sonde tomographique avec des concentrations de l'ordre de 10^{20}cm^{-3} . Les caractérisations électriques sur un fil individuel (mesure de type FET) montrent néanmoins une conductivité de type n.

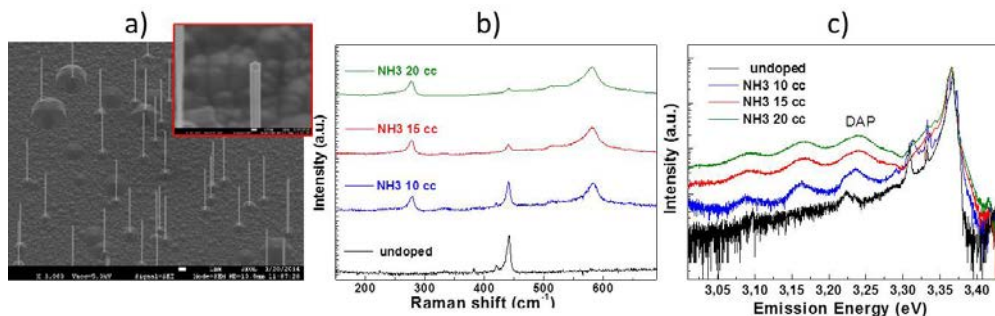


Figure : a) image MEB de nanofils dopés N élaborés sur saphir-plan A, b) spectres Raman et c) spectres PL à 4K de nanofils dopés avec différents flux de NH_3 .

AMPLIFICATION de LA LUMINESCENCE UV de NANORODS de ZnO PAR RECUIT SOUS FORTE PRESSION de VAPEUR D'EAU

Amer Al-Nafiey^{1,2}, Bernard Gelloz³, *Brigitte Sieber*², Ahmed Addad², Myriam Moreau⁴,
Luc Boussekey⁴ et Rabah Boukeherroub¹

1: IRI, USR CNRS 3078, Université Lille 1, 59658 Villeneuve d'Ascq Cédex, France,

2: UMET, (UMR CNRS 8207, Université Lille 1, 59655 Villeneuve d'Ascq Cédex, France,

3: Department of Applied Physics, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Aichi, Japan,

4: LASIR, UMR CNRS 8516, Université Lille1, 59655 Villeneuve d'Ascq Cédex, France.

Auteur contact: brigitte.sieber@univ-lille1.fr

Mots clés : ZnO, nanostructures, luminescence

L'intensité de luminescence émise par les nanostructures de ZnO dépend beaucoup de la surface en raison de leur rapport surface/volume important. Ainsi, quelle que soit l'intensité produite par le volume, plus la surface contient de défauts, plus l'intensité totale émise par la nanostructure sera faible. Une façon de réduire la densité des défauts de surface est d'effectuer des recuits à haute température. Dans ce type de recuit 'post croissance' qui conduit à une amélioration des propriétés optiques de ZnO, les atmosphères utilisées sont principalement l'air, l'oxygène et l'argon. Par contre, l'influence d'un recuit 'post croissance' sous haute pression de vapeur d'eau (HWA en anglais) n'a jamais, à notre connaissance, été encore rapporté. Le recuit HWA a précédemment été utilisé pour améliorer la photoluminescence (PL) du silicium poreux¹ et de nanofils de silicium.

Dans ce travail nous montrons que le recuit HWA de nanorods de ZnO à une température aussi basse que 260 °C conduit à une forte augmentation de leur luminescence UV. Les nanorods ont été préparés à basse température (96°C) par une méthode de déposition dans un bain chimique, sur des substrats de silicium². Ensuite les échantillons ont été recuits pendant 3 heures, soit sous air, soit sous HWA à des pressions variant de 1.3 à 3.9 MPa. La figure 1 montre que le recuit sous air entraîne une augmentation de la bande UV ainsi qu'une diminution de la bande visible. Le recuit sous HWA provoque une augmentation d'un facteur 3 de l'intensité de bande UV par rapport celle observée dans les échantillons recuits sous air. La caractérisation des nanostructures par XPS, HRTEM et MEB nous permet de montrer que l'augmentation de la bande UV a pour origine principale la reconstruction de la surface des nanorods.

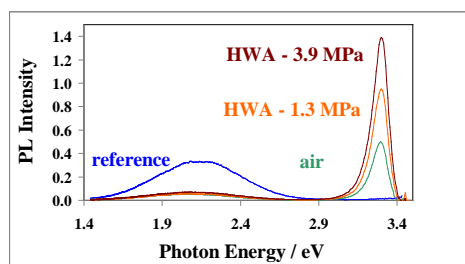


Fig. 1 Spectre PL (@300 K) de nanorods de ZnO après croissance et après recuit sous air et HWA (Excitation: 325 nm).

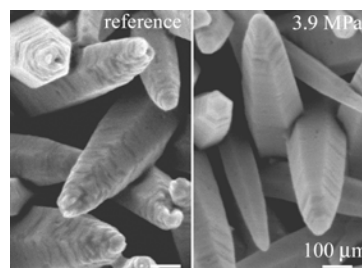


Fig. 2 SEM image MEB de nanorods ZnO après croissance et après recuit HWA montrant un lissage de la surface.

Références

- [1] B. Gelloz, A. Kojima and N. Koshida, Appl. Phys. Lett. 2005, 87, 031107
- [2] G. Perry, Y. Coffinier, V. Thomy and R. Boukeherroub, Langmuir 2012, 28, 389-395

Nanofils silicium pour super et pseudo condensateurs

Pascal Gentile

CEA – Grenoble, France

Contact : pascal.gentile@cea.fr

Mots clés :

Transistor 3D à nanofils pour la nanoélectronique

Guilhem Larrieu

LAAS-CNRS – Toulouse, France

Contact : guilhem.larrieu@laas.fr

Mots clés : Nanofils, transistor

Aujourd'hui, les limites physiques du fonctionnement des transistors nanométriques, en particulier l'augmentation de la puissance consommée par puce, ont conduit au développement de nouvelles architectures MOS. Ainsi, les dispositifs à base de nanofils ont été identifiés comme candidats potentiels pour les technologies CMOS ultimes en raison de leur aptitude à fabriquer une grille enrobant un canal de semi-conducteur. Néanmoins, le courant circulant à travers de tels dispositifs dans l'état passant reste faible, car limité par la petite section du nanofil. Il est donc essentiel de mettre en œuvre ces transistors sur des réseaux de nanofils, plutôt que sur des nanofils uniques, afin de combiner l'excellent contrôle électrostatique avec un niveau de courant de commande élevé.

Dans ce cadre, un des prérequis est le développement de réseaux denses de NFs avec un parfait contrôle de leur structure, localisation, direction et dopage, en procédé compatible CMOS. Nous évaluerons les deux différentes options d'intégration (horizontale ou verticale), en utilisant plusieurs méthodes de fabrication qui peuvent être regroupées en deux catégories: les approches bottom-up (BU) et top-down (TD). Chaque méthode possède ses propres avantages: BU permet de fabriquer des NFs avec un large choix de matériaux, tandis que l'approche TD peut être rapidement intégré dans un procédé CMOS standard. Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'intégration verticale de réseaux de nanofils pour des applications nanoélectroniques, en particulier pour les technologies modérément énergivores et dont le procédé serait parfaitement compatible avec la filière CMOS.

ALLOTROPE HETEROSTRUCTURED GE NANOWIRES

L. Vincent¹, G.Patriarche³, G. Hallais^{1,2}, C. Renard^{1,2}, C. Gardès^{1,2}, D. Troadec⁴, D. Bouchier^{1,2}

1: Univ Paris-Sud, Institut d'Electronique Fondamentale, UMR 8622, Orsay, F-91405

2 : CNRS, Orsay, F-9140

3 : CNRS, Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, UPR20 , Site Alcatel de Marcoussis, Route de Nozay, Marcoussis, F-91460

4: Institut d'électronique de microélectronique et de nanotechnologie, UMR 8520, Cité scientifique Avenue Henri Poincaré, Villeneuve d'Ascq cedex, F-59652

Auteur contact : laetitia.vincent@ief.u-psud.fr

Mots clés : stress, phase transformation

Due to size-related specific behaviours of nanoscale objects, innovative heterostructures can be formed in nanowires, not only from different materials but also from different polytypes of the same material. In this paper, we report on a stress-induced martensitic phase transformation in Ge nanowires that is believed to result from a nanoscale size effect [1].

<111>-oriented Ge nanowires with standard diamond structure (3C) undergo a phase transformation toward the hexagonal 2H-allotrope namely the lonsdaleite phase. The phase transformation occurs heterogeneously along the length of the nanowire. It results in an unprecedented heterostructure with embedded Ge-2H domains distributed all along the Ge nanowire. Occasionally, the 4H-allotrope was also identified.

This novel allotropic Ge heterostructure may open new possibilities of applications of group-IV materials in next-generation devices. Since 3C and 2H phases have different band structures and charge density, the transformation may alter significantly the electrical, thermal and optical properties of the nanowires. The literature suggests a type-I alignment band. Additionally, the 2H-allotrope is expected to present a small direct band-gap. Thus, the 3C/2H heterostructure may be optically active in the infrared region and can be a promising candidate for mid-IR detection. Enhanced optical emission and absorption are also expected from confinement effects in the nanostructures. Finally, the periodic formation of phase boundaries should result in a strong reduction of thermal conductivity while electronic transport could be preserved, what assigns 3C/2H Ge nanowire-based devices as very promising for thermoelectricity.

In the perspective of the mentioned applications, we have studied the thermal stability of the 2H domains. The recrystallisation under annealing was followed in real time by in-situ TEM up to 650°C. Instability appears between 500 and 600°C. Some domains remain stable with the 2H allotropic form up to 650°C while other domains fully recrystallize toward the 3C phase (not depending on the size). This recrystallization can be quite sudden and appears in a small thermal range. This transformation was observed on nanowires with diameter above 20 nm. It is worth noting that for lower diameters the nanowires sublime under vacuum at 600°C.

Electron beam induced current (EBIC) and optical absorption measurements are in progress to investigate electrical and optical properties of these promising allotropic heterostructured Ge nanowires.

[1] : L. Vincent et al *Nano Letters*, **2014**, 14, 4828-4836

Fabrication de réseaux de nanofils verticaux de GaAs sur substrat en Si(100) par une approche descendante

Aurélie LECESTRE^{1,2*}, Pascal DUBREUIL^{1,2}, Youssef GUERFI^{1,2}, Franck CARCENAC^{1,2},
Romain Cipro^{3,4}, Thierry BARON³, Guilhem LARRIEU^{1,2*}

1: CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, BP 54200 F-31031 Toulouse Cedex4, France

2: Université de Toulouse, LAAS, F-31031 Toulouse, France

3 : Université Grenoble Alpes CNRS-LTM, rue des Martyrs, F-38054 Grenoble Cedex, France

4 : Université Grenoble Alpes, CEA-MINATEC, rue des Martyrs, F-38054 Grenoble Cedex, France

Auteur contact : aurelie.lecestre@laas.fr

Mots clés : nanofils verticaux, GaAs, III-V sur Si, gravure RIE-ICP.

Les nanofils (NFs) III-V suscitent un intérêt particulier de par leur fort potentiel dans des domaines variés tels que la nanoélectronique [1], la nanophotonique [2] ou les capteurs biologiques [3]. Afin de favoriser son intégration grande échelle, de nombreux travaux ont démontré des synthèses de nanofils III-V sur silicium par croissance catalytique de type Vapeur Liquide Solide (VLS). Néanmoins ces approches sont toujours confrontées à des problèmes de reproductibilités (rendement de fils dans la même direction verticale, dispersion de diamètres..) et de miniaturisations (diamètre de NFs et espacement inter fils). De plus, elles utilisent des substrats de silicium à direction cristalline particulière, Si(111).

Dans ce papier, nous présenterons une approche alternative, utilisant un procédé « top-down » pour fabriquer des réseaux de nanofils verticaux en GaAs sur un substrat Si (100). La couche mince de GaAs (200-700nm d'épaisseur) a été synthétisée par MOCVD [4] sur un substrat de Si. Les nanostructures sont définies par lithographie électronique à basse accélération (20keV) dans une résine inorganique négative (HSQ) [5], (Fig.1-a). Ces motifs sont ensuite transférés par gravure plasma en mode RIE-ICP (SPTS Omega 201) avec une chimie Cl₂/N₂ [6]. Les paramètres de gravure ont dû être optimisés afin de favoriser l'anisotropie de l'attaque, en particulier la puissance de la torche à plasma et du ratio chlore/azote. Ces deux paramètres ont un impact significatif sur la formation d'une couche de passivation sur les parois du nanofil, favorisant la verticalité des profils de gravure. Ainsi, nous avons démontré des réseaux de nanofils de GaAs sur substrat de Si(100) avec un facteur de forme supérieur à 10 (Fig.1-b : diamètre = 40nm, hauteur = 500nm, angle ≈ 90°). Cette approche offre une excellente reproductibilité du procédé dans la localisation des NFs, les diamètres de NFs (précision de la lithographie électronique) la hauteur des NFs (homogénéité de la vitesse de gravure).

Les perspectives seront focalisées sur l'évaluation et l'amélioration des défauts cristallins des NFs ainsi que sur l'intégration de dispositifs.

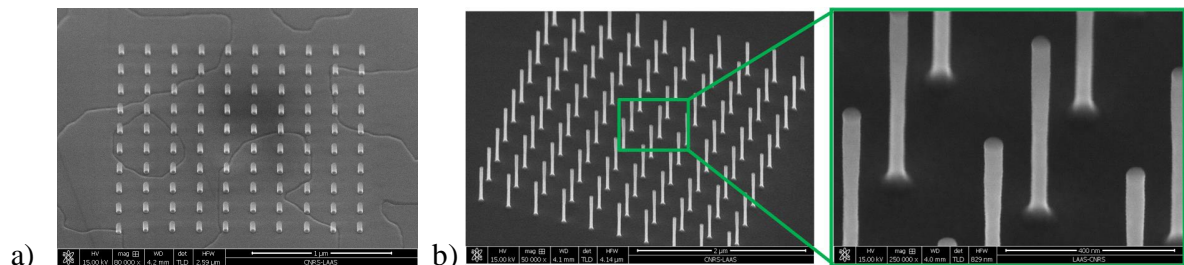


Fig.1 : Image MEB de a) réseau de nanofils en résine HSQ sur un substrat GaAs/Si.
b) réseau de nanofils GaAs (diamètre = 40nm) gravé par RIE-ICP.

Références :

- [1] K. Tomioka, M. Yoshimura and T. Fukui, *Nature*, 2012, 488, 1896192.
- [2] Yan R X, Gargas D and Yang P D 2009 *Nat. Photon.* **3** 569676.
- [3] Hallstrom W, Lexholm M, Suyatin D B, et al. 2010 *Nano Lett.* **10** 78267.
- [4] R. Cipro, T. Baron, M.M Martin, F. Bassani, S. David et al, *Applied Physics Letters* **104**, 262103 (2014).
- [5] Y. Guerfi, F. Carcenac, G. Larrieu, *Microelectronic Engineering*. **2013**, 110, 173-176.
- [6] L. Jalabert, P. Dubreuil, F. Carcenac, et al. *Microelectronic Engineering*. **2008**, 85, 1173-1178.

**Caractérisation électro-optique des diodes électro-luminescentes
à base de nanofils InGaN/GaN**

Maria Tchernycheva

IEF-CNRS – Orsay, France

Contact : Maria.Tchernycheva@u-psud.fr

Mots clés :

**Étude d'une boîte quantique de CdMnTe insérée dans un nanofil unique de ZnTe:
corrélation entre structure et spectroscopie magnéto-optique**

Pamela Rueda-Fonseca

Institut Néel – Grenoble, France

Contact : pamela.rueda-fonseca@neel.cnrs.fr

Mots clés :

Direct bandgap redshift of strained germanium nanowires measured by photocurrent spectroscopy

Kévin GUILLOY¹, Nicolas PAUC¹, Pascal GENTILE¹, Samuel TARDIF¹, François RIEUTORD¹,
Alban GASSENQ¹, Vincent CALVO¹

1: SP2M, UMR-ECEA/UJF-Grenoble 1, INAC, 38054 Grenoble, France

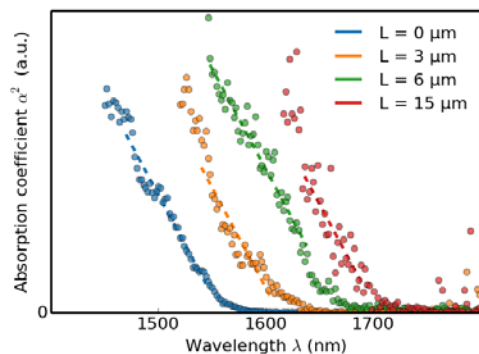
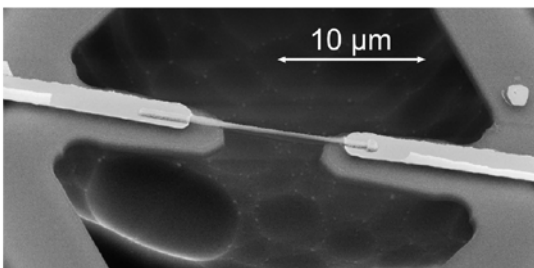
Auteur contact : kevin.guilloy@cea.fr

Mots clés : nanowire, germanium, tensile strain, photocurrent, redshift, deformation potentials

Germanium has been highly investigated as a potential light emitting material for the integration of photonic devices on silicon-based electronics. However, due to the indirect nature of its bandgap, most attempts to fabricate an efficient group IV light source failed until the recent discovery that a Ge waveguide with convenient doping and strain state could achieve laser operation [1]. We present here an experimental study of the influence of tensile strain on the direct bandgap of Vapor-Liquid-Solid (VLS) grown germanium nanowires.

To probe the electrical properties of the germanium nanowires, p-i-n junction nanowires have been fabricated and single wires have been electrically analyzed using the photocurrent spectroscopy technique. This technique is an efficient tool to measure any strain-induced band edge shift in nanowires since the absorption threshold corresponds to the direct bandgap of germanium. Nanowires have been strained by applying a fixed elongation at their ends, inducing a uniaxial stress along the $\langle 111 \rangle$ direction, using a microfabrication process based on silicon nitride pre-stressed membranes. Photocurrent analysis has shown a 70 meV shift toward lower energies while X-Ray Laue microdiffraction measurements at ESRF synchrotron exhibit a 1.5% uniaxial strain along the axis of the nanowire. These results, according to deformation potential models [2], are in good agreement with the theoretical Γ -HH transition.

Table 1: (left) SEM image of a strained Ge nanowire; (right) Photocurrent spectra of strained Ge nanowires as a function of the silicon nitride finger length



Références :

[1] Liu et al, Ge-On-Si Laser Operating At Room Temperature, Optics Letters, 35 (2010).

[2] Van De Walle, Band Lineups and Deformation Potentials in the Model-Solid Theory, Physical Review B, 39 (1989).

Nanofils InAs/InP pour la photonique silicium: vers la croissance auto-catalysée

Michel Gendry

INL-CNRS – Ecully, France

Contact : michel.gendry@ec-lyon.fr

Mots clés :

**Emergence des ISFETs 0D: un nouvel outil pour la récupération d'énergie
et la détection de bio-molécules uniques**

Nicolas Clément

IEMN-CNRS – Villeneuve d'Ascq, France

Contact: nicolas.clement@iemn.univ-lille1.fr

Mots clés :

Planar silicon CMOS technology silicon nanowires based sensors

Laurent PICHON, Anne Claire SALAÜN, Régis ROGEL, Gertrude WENGA, Emmanuel JACQUES, Brice Le Borgne

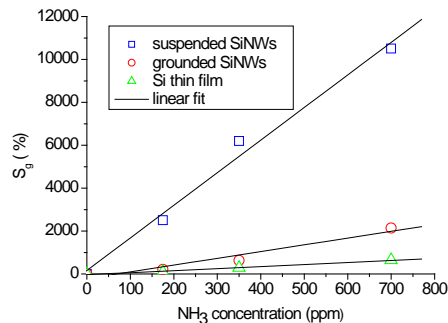
Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes, Département Microélectronique et Microcapteurs, Université de Rennes 1, 263 avenue du général Leclerc, 35042 Rennes, France

Auteur contact : lpichon@univ-rennes1.fr

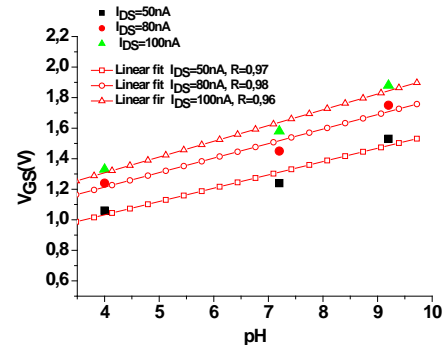
Mots clés : silicon nanowires, sensors, CMOS, silicon planar technology

Owing to their physical and electrical properties, silicon nanowires (SiNWs) are currently attracting much attention as promising components for future nanoelectronic devices such as nanowire field effect transistors, photovoltaic devices and bio-chemical sensors. The need of a fast and precise detection of early disease symptoms, as well as the need of environment safety, becomes now the main leitmotivs of the societal development. The incorporation of semiconductor nanowires into the chemical and biological sensor application receives a great interest. Thanks to their high surface to volume ratio, SiNWs are the subject of intense research activities because of their potential applications in sensing biological and chemical agents in solutions and gas environment.

Resistors and Field Effect Transistors based on polycrystalline SiNWs are fabricated using the classical top down CMOS silicon planar technologies. Nanowires are fabricated following the sidewall spacer formation technique [1]. Results show potential use as sensitive units of silicon nanowires for charged chemical species (ammonia, pH) detection. Devices are promising as low-cost manufacturing very high sensitive sensors.



Sensor responses versus different concentrations of NH_3 , for grounded SiNWs, suspended SiNWs, and thin film silicon based resistors



pH sensitivity of a field effect transistor based on silicon nanowires

Références :

[1] F. Demami, L. Pichon, R. Rogel., A. C. Salaun, Materials Science and Engineering **2009**, 6, 012014.

Decoration of silicon nanowires by copper particles : Application to specific enrichment of labeled peptide and its detection by mass spectrometry.

Ievgen Kurylo^{1,2}, Rabah Boukherroub^{1,2} & Yannick Coffinier^{1,2}

1- Institut de Recherche Interdisciplinaire (IRI, CNRS-USR 3078), Université Lille1, Parc scientifique de la Haute Borne, 50 Avenue de Halley, BP 70478, 59658 Villeneuve d'Ascq, France.

2- Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (IEMN, UMR CNRS 8520), Université Lille1, Cité Scientifique, Avenue Poincaré, BP 60069, 59652 Villeneuve d'Ascq, France.

email : yannick.coffinier@iri.univ-lille1.fr

Keywords: silicon nanowires, copper particles, metal-oxide chromatography, mass spectrometry

In the analyses of complex biological samples, the sample preparation step is crucial and can improve the sensitivity of detection. Indeed, mass spectrometry (MS) analysis of compounds at low concentration levels from complex mixtures such as body fluids or tissue homogenates is greatly facilitated by selective capture and enrichment approaches. The need for selectivity is particularly acute in the area of small molecule analysis for forensic purposes, food quality control, metabolomics and pharmacology, where examples of complex and heterogeneous mixtures abound. There are two approaches: an “off plate” and “on plate” based sample preparation prior to mass spectrometry analysis. The “off plate” approach consists in sample preparation (enrichment, separation, desalting...) with an elution step prior to the deposition of prepared sample on MALDI-MS stainless steel plate. Then, eluate is mixed to organic matrix and deposited to the MALDI plate. The “On plate” approach consists in direct mass spectrometry detection of analytes that have been selectively captured and enriched on a specific support surface. In this work, we present a simple preparation method for affinity-SALDI surface based on MOAC (Metal Oxide Affinity Chromatography) for "on plate" peptide enrichment. The surface consists in silicon nanostructures decorated with copper particles – Cu–NanoSi. We choose 6*His-tag peptide as a model compound to assess the performance of the surface in terms of selectivity of capture and sensitivity in MS detection. Here, there is no need of chemical modification steps to introduce the specific ligand, the capture of the 6*His-tag peptide occurred through the interaction between imidazole group of the lateral chain of histidine amino acid residue and Cu²⁺ ions present in the CuO layer surrounding the Cu particles. Then, after surface rinsing, the captured peptide is detected *via* matrix-free LDI-MS.

DEVELOPPEMENT DE NANOSYSTEMES A BASE DE NANOFILS POUR L'ADRESSAGE INTRA-NEURONAL.

Adrien CASANOVA^{1,2}, Marie-Charline BLATCHE^{1,2}, Aurélie LECESTRE^{1,2}, Laurent MAZENQ^{1,2},
Cécile FERRE³, Emilie BONNAUD³, Daniel GONZALEZ-DUNIA³, Liviu NICU^{1,2}, Guilhem LARRIEU^{1,2}.

¹ CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse, France.

² Univ de Toulouse, LAAS, F-31400 Toulouse, France.

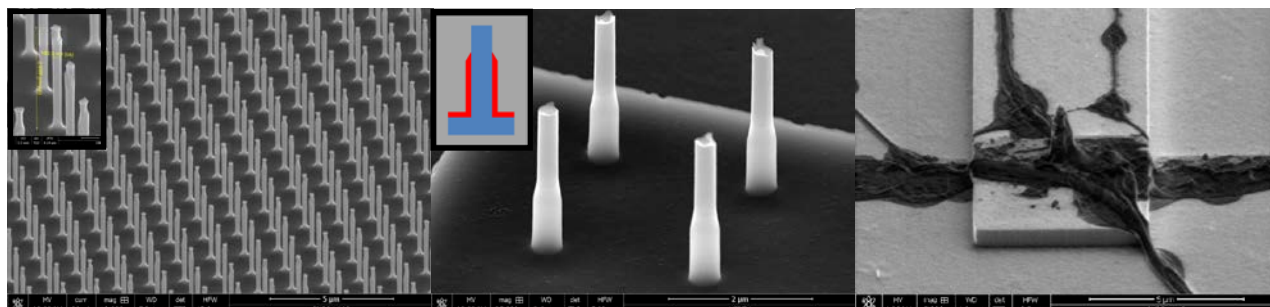
³ CPTP, INSERM UMR 1043, CNRS UMR 5282, Université Toulouse III, France.

Auteur contact : casanova.adrien@laas.fr

Mots clés : nanofils, neurones, bio-détection, nano-dispositifs.

Les neurones constituent la brique de base de l'architecture cérébrale et sont affectés lors de nombreuses maladies neuro-dégénératives. Dans l'optique d'une compréhension plus fine de leur fonctionnement, des caractérisations intra-cellulaires sont attendues. Le groupe de Lieber a démontré plusieurs dispositifs à nanofils pour détecter le potentiel d'action (marqueur électrique de l'activité neuronale), d'abord en configuration transistors à effet de champ horizontaux puis une biosonde composée d'un nanofil de silicium courbé [1]. Cette dernière approche est une avancée importante mais reste limitée par l'unicité de la mesure. Récemment, le groupe de H. Park a démontré la possibilité de détecter les signaux électriques de neurones à l'aide de réseaux de nanofils verticaux [2], approche limitée pour l'instant au corps du neurone (soma). Ces dispositifs à base de nanofils offrent une valeur ajoutée certaine du fait de leurs sections très petites, les rendant peu intrusifs, combinée à leur grand rapport surface/volume permettant une forte interaction nanofils-cellule.

Notre objectif est de développer une plateforme générique de détection intra-cellulaire à base de nanofils verticaux. Nous présenterons ici une approche top-down utilisant des outils de lithographie conventionnelle, permettant de fabriquer des nanofils verticaux de silicium de diamètre proche de la centaine de nm et de facteur de forme élevé (HF= 15)-(figure 1a). Ces nanofils formeront la base de nos dispositifs d'enregistrement de type cœur/coquille en Si/Al₂O₃ (figure 1b) qui rendent possible un enregistrement intra-cellulaire tout en restant isolé du milieu de culture. Couplés à une fonctionnalisation de surface inédite capable de localiser les neurones et de guider la croissance de leurs prolongements de manière très précise, ces dispositifs permettront de stimuler et d'enregistrer précisément les potentiels d'action générés par ces neurones dans les somas mais aussi le long des prolongements dendritiques.



a) Réseau de NFs de Si réalisés par top-down
($d=190\text{nm}$ et $H= 2.7\mu\text{m}$).

b) Dispositif d'enregistrement type
cœur/coquille en Si/Al₂O₃.

c) Prolongement dendritique guidé par
fonctionnalisation de surface permettant la parfaite
localisation sur un nanofil.

Références

[1] Zhe Jiang, Quan Qing, NanoLett. **2012**, 12, 1711–1716.

[2] Jacob T. Robinson, Marsela Jorgolli, Nature Nanotechnology 2012, 7, 180–184.

Transport électronique dans les nanofils Silicium

Julien Renard

CEA – Grenoble, France

Contact: Julien.RENARD@cea.fr

Mots clés :

Transport électronique dans des Nanofils d'InAs sous champ magnétique intense

Florian VIGNEAU,¹ Vladimir PRUDKOVKIY,¹ Ivan DUCHEMIN,² Walter ESCOFFIER,¹ Philippe CAROFF,³ Yann-Michel NIQUET,² Renaud LETURCQ,³ Michel GOIRAN,¹ Bertrand RAQUET¹

¹Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, INSA UPS UJF CNRS, UPR 3228, Université de Toulouse, 143 Avenue de Rangueil, 31400 Toulouse, France

²L-Sim, SP2M, UMR-E CEA/UJF-Grenoble, INAC, 17 Rue des Martyrs, 38054 Grenoble, France

³Institute of Electronics Microelectronics and Nanotechnology, CNRS-UMR 8520, ISEN Department, Avenue Poincaré, CS 60069, 59652 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

Auteur contact : florian.vigneau@lncmi.cnrs.fr

Mots clés : Nanoélectronique, Nanofils semi-conducteurs, Champs magnétiques intenses

Les Nanofils semiconducteurs sont sujets à d'intenses recherches depuis ces dernières décades. Ils constituent un gaz d'électron 1-D particulièrement intéressant dans une approche Bottom-up pour le développement de dispositifs pour l'optoélectronique, les applications hautes fréquences et la spintronique. Cela repose sur les propriétés uniques de leur structure de bande électronique ainsi que sur le contrôle des charges et de la dynamique de spin. Cependant, la structure de bande de Nanofils individuels souffre d'un manque crucial de détermination expérimentale directe.

Notre stratégie consiste à utiliser un Nanofil unique d'InAs en configuration transistor dans un régime de puits quantique ouvert. Nous mesurons la conductance en configuration deux pointes, observée à la fois en fonction du niveau de dopage et d'un champ magnétique intense appliqué perpendiculairement ou parallèlement à l'axe du Nanofil. L'application d'un champ magnétique sur un gaz électronique quasi-1D conduit à la levée de dégénérescence orbitale et de spin accompagnée du diamagnétisme de Landau lorsque la longueur magnétique devient supérieure au diamètre du fil. Sous très fort champ, nous observons une complète déplétion des états électroniques du Nanofils. La chute de conductance est ponctuée de plateaux jusqu'à un switch-off magnétique. Les variations de magnéto-conductance révèlent ainsi la dépendance en champ magnétique des états conducteurs 1-D. Nos mesures sont accompagnées de simulations de la structure de bande magnétique et révèlent les paramètres clés du confinement électronique dans les Nanofils d'InAs [1]. Un travail similaire sur des Nanofils d'InSb est en cours, motivé par les très importantes valeurs du facteur g de Landé rapportées dans ces systèmes.

Références :

[1] F. Vigneau, V. Prudkovkiy, I. Duchemin, W. Escoffier, P. Caroff, Y. M. Niquet, R. Leturcq, M. Goiran, B. Raquet, Phys. Rev. Lett. **2014**, 112, 076801

Modélisation des effets hors équilibre sur le transport de phonons anisotropes dans des nanofils de silicium

Jérôme LARROQUE¹, Jérôme SAINT-MARTIN¹, Philippe DOLLFUS¹

1: Institut d'Electronique Fondamentale, Université Paris-Sud, Adresse, Orsay, France

jerome.larroque@u-psud.fr

Mots clés : Simulation, Phonons, Monte Carlo, Relations de dispersion, Semi-empirique.

Dans ce travail, un algorithme Monte Carlo (MC) est utilisé pour simuler le transport des phonons dans des nanofils de silicium. La spécificité de cette étude est de prendre en compte l'anisotropie de la relation de dispersion des phonons.

Le modèle utilisé pour relation de dispersion est une interpolation 3D par morceaux, dont les valeurs aux nœuds sont calculées par la méthode semi-empirique de l'« Adiabatic Bond Charge Model » (ABCM) [1]. Les processus diffusifs sont régis par l'approximation du temps de relaxation par la méthode proposée dans [2]. Cette technique consiste à tirer au sort le temps de libre parcours sur une loi exponentielle dont le paramètre est donné par les formules de Holland [3]. Les phonons qui subissent une collision sont réinitialisés au hasard de manière à tendre vers l'état d'équilibre.

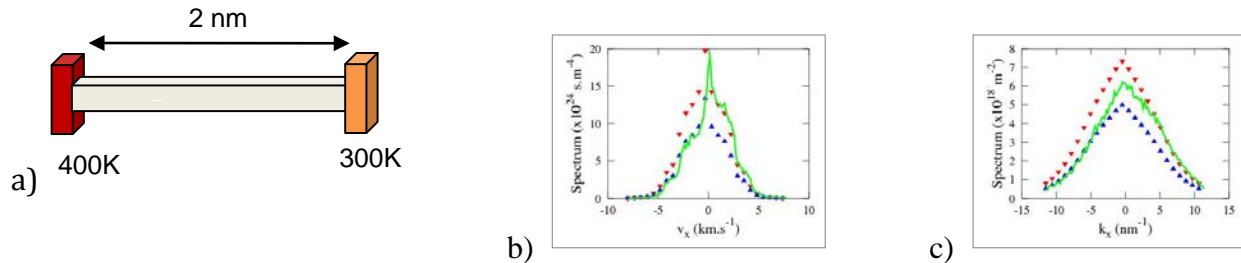


Figure 1 : (a) Schéma du fil. (b) Spectres en vitesse des phonons : spectre calculé dans la maille centrale (courbe continue) et ceux à l'équilibre à 400K (triangles vers le bas) et à 300K (triangles vers le haut). (c) Spectres en vecteur d'onde.

La figure 1 montre la distribution des phonons selon la composante longitudinale de la vitesse et du vecteur d'onde dans un nanofil de 2 nm de long avec un thermostat à gauche à 400K et à droite à 300K. Ces spectres caractérisent un régime de transport quasi balistique. Contrairement au spectre en vitesse, les phonons à vecteur d'onde positif n'ont pas le même spectre que le thermostat à gauche. Ce résultat est la conséquence d'un nombre non-négligeable de phonons dont le vecteur d'onde est en sens opposé de sa vitesse de groupe. Ce phénomène est négligé par les modèles isotropes tels que [2].

Références :

- [1] W. Weber, *Phys. Rev. B* **1977**, 15, 4789.
- [2] D. Lacroix, K. Joulain, D. Lemonnier, *Phys. Rev. B* **2005**, 72, 064305
- [3] G. Holland, *Phys. Rev.* **1963**, 132, 2461

SILICON-GERMANIUM NANOWIRES: CHEMISTRY AND PHYSICS IN PLAY, FROM BASICS PRINCIPLES TO ADVANCED APPLICATIONS

Michele AMATO¹, Riccardo RURALI², Maurizia PALUMMO³, Stefano OSSICINI⁴

1: Institut d'électronique Fondamentale, Université Paris-Sud, Centre scientifique d'Orsay, F91405 Orsay cedex

2: Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC), 08193 Bellaterra, Spain

3 : Dipartimento di Fisica, Università di Roma, "Tor Vergata", Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Roma, Italy

4 : Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria, Università di Modena e Reggio Emilia, Via Amendola 2 Pad. Morselli, I-42100 Reggio Emilia, Italy

michele.amato@u-psud.fr

Mots clés : SiGe nanowires, alloying, nanoelectronics, thermoelectrics, theoretical modelling

One-dimensional SiGe nanostructures have acquired today a prominent role in several cutting edge research topics in nanoscience, thanks to the latest relevant advances in synthesis, processing and characterization [1]. These materials present unique structural, electronic, optical and transport properties, which are intrinsically associated with their low dimensionality. What is particularly fascinating in these nanosystems is that by bringing together two similar elements –Si and Ge, neighbors in the periodic table–, a rich variety of new chemical and physical properties emerge, stimulating both fundamental and application-driven research in nanoscience.

The physical properties of SiGe NWs are strictly related not only to the size of the system (like the corresponding pure Si and Ge wires), but also to the relative composition of Si and Ge atoms, and to the geometry of Si/Ge interface. Substituting some of the atoms of a pure Si NW with Ge in random as well as ordered configurations of different compositions can strongly affect some fundamental properties such as band gap, effective mass, phonon and electron scattering processes and excitonic properties. As a consequence, SiGe NWs are the target of the most intriguing and exciting technological applications in the field of high performance nanoelectronics (such as FETs and interconnections) [2], thermoelectrics [1], photovoltaics [3], biomedicine, superconductivity and spintronics[1]. From another point of view, since in these materials the size is at or below the characteristic length scale of some fundamental solid-state phenomena, their investigation aids in clearer and deeper insights into basic research in material science.

In this presentation I will review both the achieved milestones and outline the current research efforts, focusing on theoretical modeling [4]. The investigation of the matter at nanoscale with experimental techniques is often complicated by several factors not always well controlled (such as impurities, surface reconstructions, dislocations, etc.), which can hide the right comprehension of the basic properties. In this context the role of theoretical modeling and simulations is extraordinarily important and must be joined with the experimental observations, in particular to understand the basic concepts involved in device operation, typical failure modes, and their relative advantages and limitations.

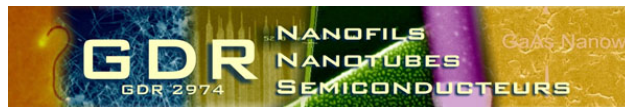
Références :

[1] M. Amato, M. Palummo, R. Rurali, S. Ossicini, *Chem. Rev.* **2014**, 114, 1371-1412.

[2] J. Xiang, W. Lu, Y. Hu, Y. Wu, H. Yan, C. M. Lieber, *Nature* **2006**, 441, 489-493.

[3] N. Dasgupta, P. Yang, *Front. Phys.* **2014**, 9, 289-302.

[4] M. Amato, S. Ossicini and R. Rurali, *Nano Lett.* **2012** 12, 2717-2721 and references therein.



Résumés

Présentations par affiches



Toulouse

27-31 octobre 2014

PLANAR TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR EMBEDDED OXIDE-BASED CONFINEMENT FOR NEW VCSELS ARCHITECTURES

G. ALMUNEAU, F. CHOUCANE, S. CALVEZ, AND C. FONTAINE

CNRS ; LAAS ; Université de Toulouse, 7 avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse, France

Auteur contact : almuneau@laas.fr

Mots clés : Selective oxidation, 3D structuration, epitaxial regrowth on patterned oxide

The modulation of both the refractive index and the electrical conduction in semiconductor photonic devices provides a unique tool for engineering gain and light confinements, or diffraction effects in order to guide or couple the light between different elements. The ability to tune the index contrast through selective oxidation of AlGaAs alloys can be exploited in most of the photonic devices platforms, with stronger assets with regards to the counterpart semiconductor/air-gap structuring in terms of monolithic integration, and compatibility with electrical injection. The lateral confinement by selective wet thermal oxidation is recognized as an efficient and reliable technique enabling a precise tuning of the electrical and optical confinement in VCSELS but also in laser diodes and other photonic structures such as optical parametric oscillator [1,2]. The standard lateral oxidation process involving successively a mesa etch and the lateral selective oxidation of a specific Al-rich layer has led to remarkable performances in the case of VCSELS in terms of single mode behavior and high frequency modulation. Nevertheless, the main drawbacks of this lateral oxidation approach are the loss of the surface planarity and severe geometrical restrictions set by the mesa shape and size.

We present a comprehensive review of the technological toolbox that can offer the AlOx technology, in order to structure the light and carrier confinements, within complex devices geometries. We report an original fabrication method enabling in a mesa-free semiconductor heterostructure, an intracavity tailoring of both of the refractive index and injected carrier profile by means of submicronic patterning, selective thermal oxidation and epitaxial regrowth [3]. This patterning consists of forming localized buried oxidized zones from an Al-rich layer placed below a thin GaAs cap layer. These shallow buried oxide patterns are subsequently covered by means of an epitaxial regrowth process, achieving finally a planar monolithic structure with embedded complex oxide structuring. We demonstrate the feasibility of this process for active photonic devices by fabricating and characterizing a sample containing an oxide-patterned layer and a regrown quantum well (QW), in order to probe the effects of regrowth and structuration. We observe the confinement of the emitted light, as well as a spectral shift of the QW emission across the different zones, due to the localized embedded strain around oxidized patterns, thus providing an additional mean of spatial gain confinement.

Références :

- [1] J.M. Dallesasse, and D.G. Deppe, Proc. IEEE 101, 2234 (2013)
- [2] M. Savanier, et al., Appl. Phys. Lett. 103, 261105 (2013)
- [3] F. Chouchane, et al., Appl. Phys. Lett., 104, 061912 (2014)

Dynamic Grazing Incidence Fast Atom Diffraction : in-situ monitoring of GaAs growth oscillations and surface reconstructions

Paola ATKINSON¹, Mahmoud EDDRIEF¹, Victor H. ETGENS^{1,3}, Fabio FINOCCHI¹,
Maxime DEBIOSSAC², Asier ZUGARRAMURDI², Andrey G. BORISOV², Hocine KHEMLICHE²
Philippe RONCIN²

1: INSP UMR7588 CNRS ó Sorbonne Universités, Université Pierre et Marie Curie, Paris 75005.

2: ISMO UMR8214 CNRS ó Université Paris-sud Orsay, 91400

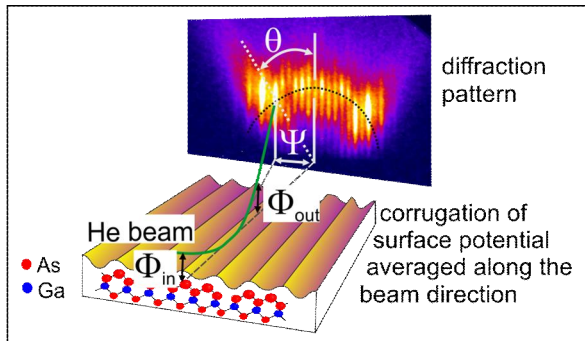
3 : VeDeCom ó Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, Versailles.

Auteur contact : atkinson @ insp.jussieu.fr

Mots clés : Diffraction, GaAs, layer-by-layer growth, reconstructions

Reflection High Energy Electron Diffraction (RHEED) is perhaps the most commonly used in-situ monitoring method for molecular beam epitaxy, providing quantitative information about surface reconstructions, lattice parameters, growth rates and growth modes, together with semi-quantitative information about surface morphology.

We present here an alternative, recently developed, diffraction technique, fully compatible with conventional MBE growth which has the advantage over RHEED in that it is truly surface sensitive. This technique, known as Grazing Incidence Fast Atom Diffraction (GIFAD) uses a beam of neutral atoms such as Helium, with energy less than 1 keV, incident on the surface at a shallow angle,



resulting in atom diffraction from the corrugated surface potential averaged along the beam direction, as shown schematically in the figure. We have mounted a GIFAD system on a commercial MBE machine and demonstrate the capacity of GIFAD to monitor layer-by-layer growth [1] and demonstrate how rocking curves can be used to determine the surface reconstruction [2].

Références :

[1] *Dynamic grazing incidence fast atom diffraction during molecular beam epitaxial growth of GaAs.* P. Atkinson, M. Eddrief, H. Khemliche, M. Debiossac, A. Momeni, M. Mulier, B. Lalmi and P. Roncin, *Appl. Phys. Lett.* **105** 021602 (2014)

[2] *Combined experimental and theoretical study of fast He atom diffraction on the $\beta_2(2 \times 4)$ reconstructed GaAs (001) surface.* M. Debiossac, A. Zugarramurdi, H. Khemliche, P. Roncin, A. G. Borisov, A. Momeni, P. Atkinson, M. Eddrief, F. Finocchi and V. H. Etgens, *Phys. Rev. B* accepted

Droplet etching ó a flexible pathway for controlled quantum dot growth

Paola ATKINSON¹, Valerio PASQUALI¹, Andrey PANKRATOV¹, Richard HOSTEIN¹, Valia VOLIOTIS¹

1: INSP UMR7588 CNRS ó Sorbonne Universités, Universit  Pierre et Marie Curie, Paris 75005.

Mots clés : GaAs, quantum dots, droplet etching

The growth of quantum dots (QDs) by the Stranski-Krastanov growth process is challenging due to the fact that dot density, dot size and dot uniformity are highly sensitive to growth conditions such as growth rate, deposition amount and substrate temperature.

An alternative and more robust method to grow low density QDs, is to create self-assembled holes in the substrate by local droplet etching which act as a template for the QD formation (see Fig 1).

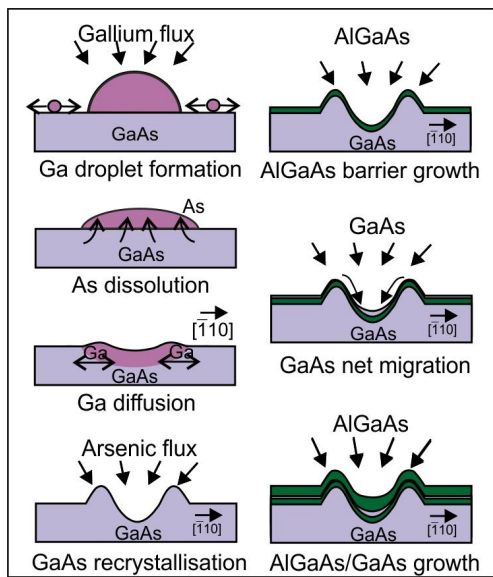


Figure 1: Schematic of the droplet etching and subsequent infilling for quantum dot formation

The density of the nanoholes can be easily controlled by either the group III arrival flux or the substrate temperature. The dot size can then be controlled independently of the density, by controlling either the deposition amount, or the interrupt time for net migration towards the bottom of the hole, as shown in Fig 2. The effect of growth conditions on both the shape of the hole, and the rate of infilling will be discussed in some detail.

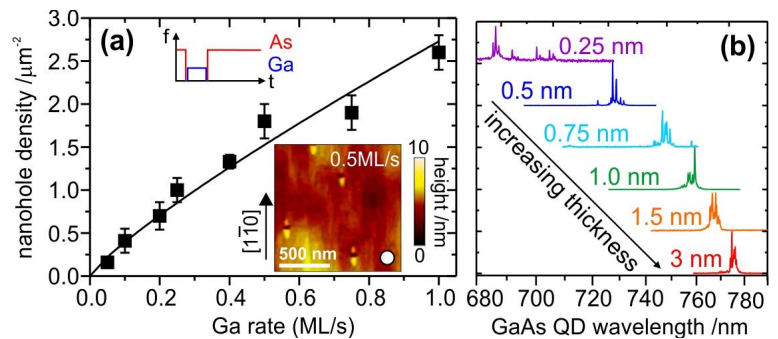


Figure 2: (a) Nanohole density vs. Ga arrival flux; (b) QD emission wavelength vs. GaAs deposition amount on the nanohole patterned surface [1]

Références :

[1] P. Atkinson, E. Zallo and O. G. Schmidt, *J. Appl. Phys.* **112** 054303 (2012)

ETUDE DE LA CROISSANCE DES COUCHES DE GaN SUR DIFFERENTS SUBSTRATS

M. BOUCHAOUR^{*1}, N. MALOUFI³, G. ORSAL^{2,4}, S. GAUTIER^{2,4}, A. OULD-ABBAS¹,
N.E. CHABANE SARI¹, A. OUGAZZADEN⁵

1: *Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables (URMER) – Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, BP 119 Tlemcen, Algérie.*

2: *Laboratoire Matériaux Optiques, Photonique et Systèmes, Université de Metz and SUPELEC, 2 rue E. Belin 57070 METZ, France.*

3: *Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux UMR CNRS 7239 Ile du Saulcy 57045 METZ cedex 1, France.*

4: *UMI 2958 Georgia Tech-CNRS.*

5: *Georgia Institute of technology / GTL 2-3 rue Marconi 57070 Metz, France. UMI 2958 Georgia Tech- CNRS*

contact : Bouchaour.m@gmail.com

Mots clés : GaN, LiNbO₃, GaN/ Al₂O₃, AlN/Al₂O₃, MEB, AFM, DRX, EPVOM.

Les nitrures d'éléments III présentent une gamme étendue d'énergies de bande interdite qui permet de réaliser des émetteurs de lumière couvrant tout le domaine du visible jusqu'au proche UV. Ces matériaux sont des candidats privilégiés pour la réalisation de dispositifs optoélectroniques de courte longueur d'onde, pouvant fonctionner à des températures élevées. Cependant l'épitaxie de ces matériaux est rendue difficile à cause du désaccord paramétrique entre les couches déposées et les substrats existants. Dans ce travail, nous présentons la croissance par EPVOM des couches de GaN sur différents substrats (LiNbO₃, GaN/saphire and AlN/saphire). La cinétique de croissance associée aux différents paramètres influençant la qualité des couches épitaxiées est décrite. La caractérisation de la morphologie des couches élaborées est effectuée par MEB et AFM. La qualité cristalline est examinée par DRX.

Références:

[1] G.Orsal, N.Maloufi, M.Alnot, A.A.Sirenko, M.Bouchaour, A.Ougazzaden, *Journal of crystal Growth*, (2008), 5058-5062

[2] Moudakir, T.; Orsal, G.; Maloufi, N.; Sirenko, A. A.; Gautier, S.; Bouchaour, M.; Ould saad, S.; Salvestrini, J. P.; Ougazzaden, *The European Physical Journal Applied Physics (EPJAP)*, (2008), 295-299.

DEFORMATIONS INTRODUITES PAR CONDENSATION DE GERMANIUM DANS DES COUCHES SiGe EPITAXIEES SUR Si

Victor BOUREAU^{1,2}, Daniel BENOIT², Bénédicte WAROT¹, Martin HYTCH¹ et Alain CLAVERIE¹

1: CEMES-CNRS et Université de Toulouse, 29 rue J. Marvig, 31055 Toulouse, France

2: STMicroelectronics, 850 rue Jean Monnet, 38920 Crolles, France

Auteur contact : alain.claverie@cemes.fr

Mots clés : MET, holographie, germanium, condensation, SOI

Le développement industriel des microprocesseurs conduit à une miniaturisation des transistors. Avec une taille actuelle de 22 nm, nous arrivons face à des limitations physiques théoriques comme les effets de canal court, limitant la taille du canal des transistors planaires à ~ 20 nm. Afin de dépasser cette barrière, une option est d'utiliser des architectures innovantes, comme l'utilisation de substrats SOI (silicium sur isolant).

Nous nous intéresserons ici au procédé de condensation de germanium, utilisé dans la fabrication de substrats SiGeOI, pour l'élaboration des pMOSFETs (transistors à effet de champ de type p) de nouvelle génération. Partant de substrats SOI, la transformation du film mince Si en SiGe par condensation est essentielle pour améliorer la mobilité des trous, et donc obtenir de bonnes performances dans les dispositifs finaux.

Ce procédé de condensation de Ge se déroule en deux étapes [1]. La première consiste en une épitaxie de $\text{Si}_{1-y}\text{Ge}_y$ sur du SOI. La seconde est une oxydation thermique du $\text{Si}_{1-y}\text{Ge}_y$, afin de "condenser" les atomes de Ge en un film $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, par le biais de deux mécanismes : l'oxydation préférentielle du Si et le faible coefficient de diffusion du Ge dans SiO_2 .

L'étude de ce procédé s'appuiera sur l'holographie électronique en champ sombre (DFEH) [2]. Cette technique de microscopie électronique en transmission permet la mesure des déformations dans les cristaux à l'échelle du nanomètre avec une grande précision.

Nous verrons l'importance de cette mesure dans la compréhension du phénomène, où composition chimique et déformations sont étroitement liées. La Fig. illustre la possibilité, à partir de la cartographie des déformations hors-plan d'une couche SiGe condensée, de remonter à l'information de composition chimique, confirmée par mesures EELS.

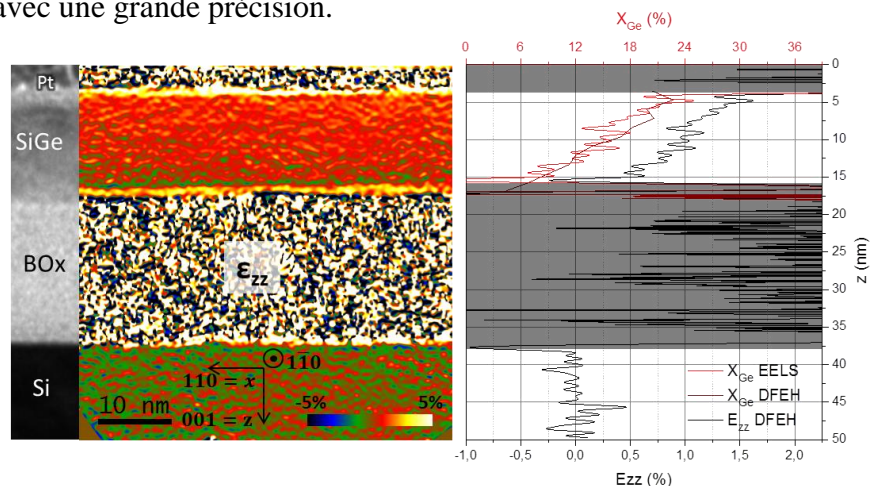


Fig. : Cartographie DFEH des déformations verticales d'un SiGeOI après condensation et profil de déformation extrait, superposé aux mesures X_{Ge}

Références :

- [1] T. Tezuka et al., *Japanese Journal of Applied Physics* **2001**, 40, 2866-2874.
- [2] M.J. Hytch, F. Houdellier, F. Hüe and E. Snoeck, *Nature* **2008**, 453, 1086-1090.

**EFFET DE LA TEMPERATURE DE CROISSANCE ET DE LA DESORIENTATION
DES SUBSTRATS SUR LA MORPHOLOGIE DES NANOSTRUCTURES
InAsBi/GaAs (001)**

Rabia Boussaha, Hedi Fitouri, Ahmed Rebey et Belgacem Eljani

*Unité de recherche sur les Hétéroépitaxies et Applications, Université de Monastir, Rue de
l'environnement, Monastir 5019, Tunisie*

Contact : fitouri_hedi@yahoo.fr

Mots-clés : semiconducteurs, GaAs, bismures dilués, morphologie de surface

Les matériaux III-V-Bi ont reçu beaucoup d'attention ces dernières années en raison de leurs applications potentielles dans le domaine de l'infrarouge (IR), du photovoltaïque et des télécommunications. Cependant, l'incorporation de bismuth dans les III-V présente beaucoup de difficultés à cause de sa faible solubilité dans ces semiconducteurs et sa ségrégation à leur surface, du fait de sa grande taille atomique. Son incorporation est particulièrement délicate dans la matrice InAs/GaAs, du fait du fort désaccord de maille de l'InAs avec son substrat GaAs. Dans ce travail, la croissance de nanostructures InAsBi a été étudiée pour différentes températures de croissance et des substrats orientés (001) nominal, et désorientés de 2° et 10° vers la direction [111]A. L'effet de ses deux paramètres a été qualifié par AFM, qui a mis en évidence la formation de nano-îlots pour tous les échantillons. Toutefois, la forme et la taille de ces nano-îlots varient avec la température de croissance et la désorientation de substrat. De plus, pour la désorientation de 2°, l'augmentation de la température au-delà de 400°C conduit à une modification de morphologie. Cette observation a été aussi faite pour la désorientation de 10° à une température de croissance plus faible, de 375°C. Enfin, l'utilisation de substrats désorientés conduit à la formation de nanostructures d'InAsBi de deux tailles différentes. Toutes ces observations indiquent que la désorientation des substrats de GaAs joue un rôle important sur la morphologie des nanostructures de InAsBi.

EFFECT OF THE AlN INTERFACIAL LAYER ON THE PIEZOELECTRIC PROPERTIES OF GaN NWS

Nicolas JAMOND¹, Pascal CHRETIEN², Ludovic LARGEAU¹, Olivia MAUGUIN¹,
Elisabeth GALOPIN¹, Laurent TRAVERS¹, Jean-Christophe HARMAND¹, Frédéric HOUZE²,
Noelle GOGNEAU¹

1: *Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS-LPN-UPR20, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France*

2: *Laboratoire de Génie Electrique de Paris, UMR CNRS-Supélec 8507, Universités Pierre et Marie Curie et Paris-Sud, 11 rue Joliot-Curie, 91192 Gif sur Yvette, France*

Auteur contact : nicolas.jamond@lpn.cnrs.fr

Mots clés : GaN Nanowires, AlN interfacial layer, Piezo-generation

III-N nanowires (NWs) have recently emerged as excellent candidates to fabricate novel ultra-compact and efficient piezoelectric generators for self- powered micro- and nano-devices. In spite of the widespread discussions of the benefits of NWs to improve the piezoelectric conversion efficiency, there is a lack of fundamental understanding of their properties.

GaN NWs are grown in a plasma-assisted molecular beam epitaxy (PAMBE) chamber, active nitrogen being supplied by a radio-frequency plasma cell. The substrate temperature is fixed at 800°C and the growth is performed under N-rich condition with an N/Ga ratio of about 1.36. The GaN NWs are vertically aligned NWs with hexagonal shape delimited by {10-10} planes. Prior to the growth of GaN NWs, an interfacial AlN layer is deposited on the Si(111) substrate. This layer is known to improve the orientation of the nanowires and to limit their density. However, one may wonder what is the effect of this interfacial layer, which is known to be potentially insulated, on the mechanical-electric conversion mechanism.

We have first investigated the growth mechanism of the AlN interfacial layer on Si(111) substrate. We have shown that in our growth conditions, the layer is characterized by N-polar AlN columnar pedestals, surrounded by a 2D-AlN layer presenting metal-polarity [1]. Then, we have studied the effect of this interfacial layer on the nanowires piezo-generation efficiency. Based on experiences performed with an atomic force microscope equipped with a Resiscope module [2], we establish the critical role of the layer thickness and of its doping level.

Références :

- [1] L. Largeau, E. Galopin, N. Gogneau, L. Travers, F. Glas, J.-C. Harmand, *Cryst. Growth Des.* **2012**, 12, 2724.
- [2] O. Schneegans, P. Chrétien, F. Houzé, *French Patent FR 10 01940*, **2010**, *International PCT WO 2011/138738*, **2011**.

ETUDE ET CONTROLE DES MECANISMES DE DEMOULLAGE A L'ETAT SOLIDE

Frédéric LEROY, Fabien CHEYNIS, Thibault PASSANANTE, Stefano CURIOTTO,
Pierre MÜLLER

CINaM, Aix Marseille Université, UMR CNRS 732, Campus de Luminy, 13288 Marseille CEDEX

Auteur contact : leroy@cinam.univ-mrs.fr

Mots clés : Démouillage solide, Silicium, Germanium, SOI, GeOI

Si les mécanismes de démouillage à l'état liquide (c'est-à-dire l'agglomération spontanée d'un film liquide en gouttelettes) sont bien connus, il n'en est pas de même des mécanismes de démouillage à l'état solide (agglomération d'un film solide métastable en une assemblée d'îlots tridimensionnels cristallisés). En particulier, les modèles permettant de décrire le démouillage liquide font appel à la capillarité des liquides (isotropes par définition) et à l'hydrodynamique alors que le démouillage solide est un phénomène capillaire dans lequel l'anisotropie cristalline joue un rôle important et pour lequel les transferts de masse sont, de fait, pilotés par la diffusion de surface.

L'utilisation de la microscopie à électrons lents (LEEM) nous a permis d'étudier la morphologie et la cinétique *in situ* et en temps réel du démouillage de films de Si/SiO₂ (SOI) [1] et de Ge/SiO₂ (GOI) [2]. Nous avons en particulier analysé le rôle central du facettage, de l'anisotropie cristalline et des processus de formation du bourrelet de démouillage. Nous montrons en particulier que les différences entre le démouillage de SOI et celui de GOI sont essentiellement dues à l'existence de facettes de type {15 3 23} présentes sur la forme d'équilibre du Ge.

L'un des buts ultimes est de pouvoir contrôler le démouillage. Nous montrerons comment un flux de dioxygène permet, en particulier, de stopper réversiblement le démouillage de SOI [3].

Références :

- [1] F. Cheynis, E. Bussmann, F. Leroy, T. Passanante, P. Müller, *Phys. Rev. B*, **2011**, 84, 245439.
- [2] F. Leroy, F. Cheynis, T. Passanante, P. Müller, *Phys. Rev. B*, **2013**, 88, 035306.
- [3] S. Curiotto, F. Leroy, F. Cheynis, P. Müller, *Appl. Phys. Lett.*, **2014**, 104, 061603.

SUBSTRATE CLEANING PROCESS FOR THE MBE GROWTH OF Sb-BASED 1.55 μm LASERS ON Si

K. MADIOMANANA^{1,2}, J.-B. RODRIGUEZ,^{1,2} L. CERUTTI,^{1,2} A. CASTELLANO,^{1,2,3}
M. BAHRI,⁴ L. LARGEAU,⁴ O. MAUGUIN,⁴ G. PATRIARCHE,⁴ and E. TOURNIE^{1,2}

1: IES. Université de Montpellier, UMR 5214, F-34000 Montpellier, France

2: CNRS, IES. Université de Montpellier, F-34000 Montpellier, France

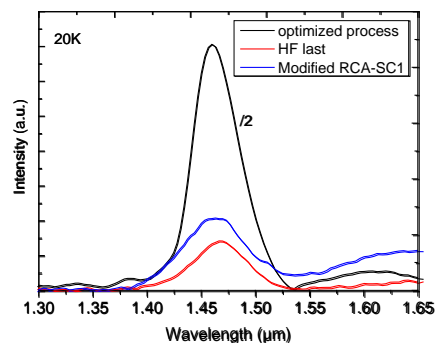
3 : Alcatel – III-V Lab. F-91460 Marcoussis, France

4 : CNRS, LPN. UPR 20, F-91460 Marcoussis, France

Auteur contact : madiomanana@ies.univ-montp2.fr, rodriguez@ies.univ-montp2.fr

Mots clés : silicon substrate preparation, antimonides-based 1.55 μm lasers, MBE

Many researches on III-V laser integration on silicon have been recently carried out [1], and the direct epitaxial growth by MBE of GaSb-based lasers on Si appears to be a very promising approach [2]. Growing good quality III-V epitaxial layer on Si is however still challenging because of materials properties differences and of the silicon surface quality before epitaxy. About the latter, the silicon surface needs to be perfectly plane and clean before III-V epitaxy. Indeed, the presence of contaminants and native oxide lead to the formation of defects during the growth. We developed a simple cleaning process based on cycles of HF etches and O₂-plasma oxidations sequences. Ellipsometry was used to characterize the surface cleanliness and optimize each step of the process, with a particular attention paid to the reliability and reproducibility. Active zones were then grown by solid-source MBE on cleaned Si substrates and characterized by temperature-dependent photoluminescence spectroscopy and atomic force microscopy. The figure shows the photoluminescence spectra taken at 20K for different cleaning processes and demonstrates the efficiency of our process. Part of this work was sponsored by the French National Research Agency, project OPTOSi n° 12-BS03-002.



Références :

- [1] A. Lee, H. Liu et al, *Semicond. Sci. Technol.* **2013**, vol. 28, 015027
- [2] L. Cerutti, J.B. Rodriguez et al, *IEEE Photonics Technology Letters.* **2010**, vol. 22, NO. 8

EPITAXIE DE BOITES QUANTIQUES InAs SUR DES SURFACES DE GaAs (001) NANOSTRUCTUREES EFFET D'UN PUIITS GaInAs CONTRAINT SOUS-JACENT

Hajer MAKHLOUFI^{1,2}, Alexandre ARNOULT^{1,2}, Alexandre LARRUE^{1,2},
Guy LACOSTE^{1,2}, Emmanuelle DARAN^{1,2} et Chantal FONTAINE^{1,2}

¹ LAAS-CNRS, 7 avenue du Colonel Roche, 31400-Toulouse-France

² Université de Toulouse, Université Paul Sabatier, 31400-Toulouse-France

Contact : chantal fontaine: fontaine@laas.fr

Mots-clés : épitaxie par jet moléculaire, nanostructuration, boîtes quantiques, croissance auto-organisée, préparation de surface

Nous visons la réalisation de composants intégrant des boîtes quantiques organisées périodiquement dans une direction $\langle 110 \rangle$ de la surface GaAs. Nous avons donc choisi de réaliser la croissance de boites sur des surfaces structurées par des nanorubans, et étudié la possibilité d'exploiter la contrainte sous-jacente apportée par des puits pour diriger leur organisation comme l'avaient fait Lee *et al* sur des nanorubans [1].

Nous avons réalisé la structuration des surfaces de GaAs, leur décontamination et protection par oxydation jusqu'à la chambre ultra-vide. Nous avons optimisé la désoxydation de surface par des procédés à basse température, pour disposer de surfaces facettées sans nano-trous obtenus lors d'une désoxydation thermique. La reprise d'épitaxie de GaAs (15nm) puis celle d'un puits GaInAs a été effectuée sur ces surfaces.

Nous avons étudié les conditions d'organisation des boîtes quantiques sur ces surfaces structurées topographiquement et/ou par la modulation de contrainte du puits sous-jacent.

Ous présenterons l'étude réalisée et montrerons dans quelles conditions les boîtes quantiques peuvent être regroupées le long des nanorubans.

Référence :

[1] H. Lee, J. A. Johnson, M. Y. He, J. S. Speck, et P. M. Petroff, « Strain-engineered self-assembled semiconductor quantum dot lattices », *Appl. Phys. Lett.*, vol. 78, n° 1, p. 105-107, 2001.

EPITAXIE PAR MOCVD ET CARACTERISATION DE COUCHES MINCES III-As et III-P SUR SUBSTRAT SILICIUM 300mm

Mickael MARTIN¹, Romain CIPRO¹, Thierry BARON¹, Jeremy MOYAERT¹, Franck BASSANI¹, Viktoriia GORBENKO^{1,2}, Jean-Paul BARNES², Yann BOGUMILOVICZ², Patrice GERGAUD², Xinyu BAO³, Zhiyuan YE³, David CARLSON³, Jean-Baptiste PIN³, Errol SANCHEZ³

¹ *LTM/CNRS-CEA-LETI, 17, rue des martyrs, 38054 Grenoble, France*

² *CEA, LETI, Minatec Campus, 17, Avenue des Martyrs, 38054 Grenoble C, France*

³ *APPLIED MATERIALS, 3050 Bowers Avenue, Santa Clara, CA 95054, USA*

Mots clés : III-V, GaAs, GaP, InP, InGaAs, épitaxie, MOCVD

L'intégration monolithique de matériaux III-V au sein d'une plateforme silicium présente un intérêt croissant depuis plusieurs années. Les propriétés électriques et optiques des matériaux III-V (forte mobilité des porteurs, gap direct dans de nombreux cas...) pourraient ainsi être combinées avec le savoir-faire acquis en technologie silicium ; ceci notamment pour la réalisation de couche III-V épitaxiées sur substrat silicium de large diamètre. Dans le domaine de la nanoélectronique cela permettrait ainsi de réaliser des canaux pour les transistors MOS basse consommation. En optoélectronique, il serait par exemple aussi envisageable d'ajouter de nouvelles fonctionnalités au silicium en intégrant des émetteurs et des récepteurs de lumière à haut rendement.

L'hétéro-épitaxie de matériaux III-V sur silicium présente cependant de nombreux challenges technologiques à relever. Il faudra ainsi s'affranchir de la haute densité de défauts cristallins (dislocations, parois d'antiphase, macles, défauts d'empilement) due à la différence de paramètre de maille et à l'interface polaire/non polaire entre les deux matériaux.

Cette étude montrera les résultats obtenus sur couches GaAs, GaP, InP, InGaAs épitaxiées sur substrat silicium 300mm à partir d'une nouvelle plateforme MOCVD industrielle. Parallèlement nous présenterons les analyses physico-chimiques (AFM, FIB-STEM, XRD, SIMS...) qui nous ont permis de caractériser et d'optimiser nos procédés de croissance.

Vers l'hétéro-épitaxie localisée et sans défauts de GaAs sur silicium

Timothée Molière^{1, 2}, Charles Renard¹, N. Cherkashin³, G. Hallais¹, L. Vincent¹, A. Jaffré², D. Bouchier¹, D. Mencaraglia²

1: IEF. Univ Paris-Sud, CNRS, UMR 8622, 91405, Orsay

2: LGEP-Supelec. UMR CNRS 8507, Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-Sud, 91192, Gif sur Yvette

3 : CEMES. UPR CNRS 8011, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse

Auteur contact : timothee.molier@u-psud.fr

Mots clés : Croissance localisée, épitaxie latérale, intégration hétérogène de GaAs sur Si, substrat nano-patterné

L'objectif de cette étude est de réaliser une cellule photovoltaïque multijonction par l'intégration de matériaux III-V ($\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$) sur un substrat silicium, sans génération de dislocations et sans formation de domaines d'antiphases. Ce travail s'appuie sur un savoir-faire acquis sur la croissance latérale de GaAs sur oxyde de silicium nanostructuré¹ par CBE (Chemical Beam Epitaxy). Il est en effet possible d'obtenir des microcristaux de GaAs sans défauts à travers un oxyde de silicium présentant des nano-ouvertures. Les îlots de GaAs initialement en accord de maille avec le substrat de Si relaxent sans création de défauts en sortant des ouvertures.

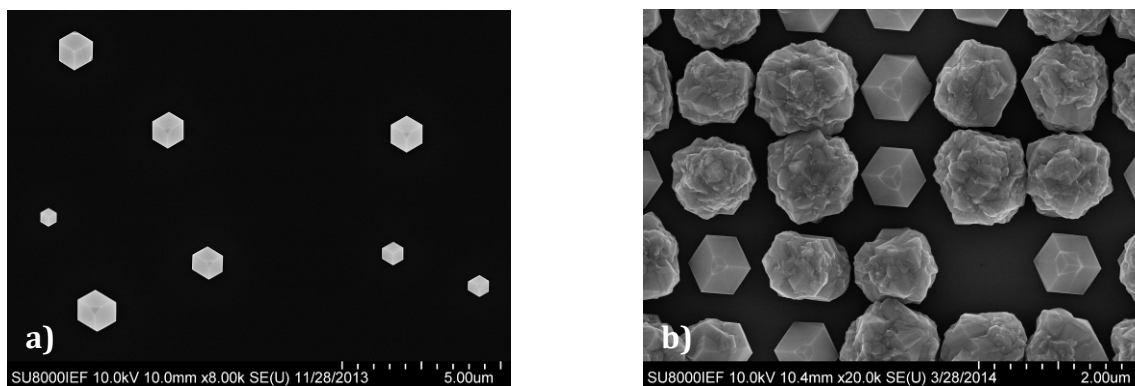


Figure 1 : Croissance de GaAs sur Si(111) a) sans localisation, b) avec localisation et à travers des ouvertures de 80nm dans de la silice.

Cette technique d'intégration de GaAs sur Si a été effectuée en première approche à travers des trous ouverts aléatoirement (Figure 1). Elle nous a ainsi permis d'obtenir de très bons résultats sur Si (100) et Si (111). En effet, les analyses effectuées par diffraction de rayons X (DRX) indiquent que le GaAs est parfaitement relaxé et en accord d'épitaxie avec le substrat de Si. Les images TEM en coupe des îlots sur Si(111) ont quand à elles révélées que ces îlots étaient monocristallins. Les travaux actuels cherchent donc à obtenir les mêmes résultats sur des substrats patternés (Figure 2) afin de maîtriser la localisation des îlots et in fine obtenir une pseudo-couche de GaAs relativement compacte pour son application en photovoltaïque. Ces différents résultats seront présentés lors de la communication.

Références :

- [1] C. Renard, Applied Physics Letters, **2013**, 191915

Nanofabrication FIB de nanofils cœur-coquille SiGe

A. Bebkouider¹, A. Ronda¹, T. David¹, L. Favre¹, M. Naffouti¹, M. Abbarchi¹, K. Liu¹, A. Delobbe², P. Sudraud² et I. Berbezier¹

1: CNRS, Aix-Marseille University, IM2NP, 13397 Marseille Cedex 20, France

2 : Orsay Physics, 13710 Fuveau, France

Auteur contact : isabelle.berbezier@im2np.fr

Mots clés : FIB, nanofils, condensation,

Les nanofils (NFs) sont considérés comme des éléments prometteurs pour les applications en électronique et en photonique. Il a été démontré théoriquement que les configurations cœur-coquille de NFs SiGe donnent des propriétés originales, ouvrant ainsi un nouveau domaine d'application pour ces matériaux comme l'intégration dans les composants optoélectroniques, mais une grande incertitude en ce qui concerne leurs propriétés fondamentales, existe encore en raison de l'absence d'homogénéité de taille, de composition et de position [1-3].

Dans ce contexte, nous avons développé un procédé de fabrication : "Top-Down" en deux étapes basé sur la nanogravure directe par faisceau d'ions focalisés (FIB) suivie de la condensation du Ge sur la coquille par oxydo-réduction. Ce procédé permet de contrôler la taille des NFs, le rapport d'aspect cœur-coquille et leur localisation.

Les structures composition et morphologie des NFs obtenus ont été caractérisées par MEB, MET et analyse dispersive en énergie (EDS). Nous avons ensuite préparé les échantillons pour effectuer une étude électrique des NFs.

Références :

[1] A Benkouider, A Ronda, A Gouyé, C Herrier, L Favre, D J Lockwood, N L Rowell, A Delobbe, P Sudraud and I Berbezier, *Nanotechnology* **2014** 25 335303.

[2] J. Xiang, W. Lu, Y. Hu, Y. Wu, H. Yan and C.M. Lieber, *Nature* **441**, 489-493 **2006**.

[3] Kelzenberg MD, Boettcher SW, Petykiewicz JA, et al., *Nat Mater.* **2010** 239-44

Caractérisation électrique de Tunnel FET à base de nanofils horizontaux à hétérostructure Si/SiGe

Virginie BROUZET^{1,3}, Bassem SALEM¹, Priyanka PERIWAL¹, Thierry BARON¹, Franck BASSANI¹, Pascal GENTILE², Gérard GHIBAUDO³... (Times New Roman 12 pt.)

1: LTM, UMR 5129, Univ. Grenoble Alpes, LTM, F-38000Grenoble, France

2: SiNaPS, SP2M, UMR_E 9002, Univ. Grenoble Alpes, INAC-SP2M, F-38000Grenoble, France

3 : IMEP-LAHC, UMR 5130, Univ. Grenoble Alpes3bis, IMEP-LAHC, F-38000 Grenoble, France

Auteur contact : virginie.brouzet@cea.fr

Mots clés : Nanofil Silicium, nanofil à hétérostructure Silicium/SiliciumGermanium, Transistor tunnel à effet de champ (Tunnel FET)

Afin de réduire la puissance dissipée par les circuits intégrés, de nouvelles architectures et de nouveaux matériaux, qui permettront d'obtenir une faible tension d'opération, sont aujourd'hui intensivement étudiés. Les transistors tunnel à effet de champ (Tunnel FET) dont le canal est constitué de nano-fil à hétéro-structure [1] sont considérés comme des candidats prometteurs pour remplacer ou compléter la technologie actuelle à base de transistor MOSFET. Grâce à son mécanisme de conduction par effet tunnel bande à bande, le Tunnel FET n'est pas sujet aux effets de canaux courts, et sa pente sous le seuil n'est pas limitée à 60mV/décade, limite physique des MOSFETs. De plus, la géométrie des nanofils permet d'obtenir une structure quasi idéale d'un point de vue électrostatique et la possibilité d'une intégration 3D. Un des challenges pour la réalisation de Tunnel FET performants à base de nanofils est de minimiser la largeur des jonctions des hétéro-structures p-i-n Si/SiGe [2].

Dans ce contexte, nous présenterons la réalisation et l'étude des propriétés électriques de transistors Tunnel FET à base de nanofils à hétérostructure Si/SiGe. Les hétérostructures sont élaborées par croissance CVD-VLS en utilisant l'or comme catalyseur avec un profil de dopage in situ p(Si)-i(Si)-n(SiGe) [3]. Les nanofils ont un diamètre d'environ 100nm, et la grille est composée d'un oxyde (l'alumine) déposée par ALD et d'un contact métallique (Aluminium). Nous présenterons l'effet de la concentration x de germanium du matériau source ($\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$) sur les performances électriques des dispositifs. Enfin nous montrerons également les mesures électriques réalisées à basse température, lesquelles permettent de mettre en évidence la signature de l'effet tunnel.

Références :

[1] A.S. Verhulst, W.G. Vanderberghe, K. Maex and G. Groeseneken, *Appl. Phys. Lett.* **2008**, 104, 064514.

[2] D.Leonelli , A.Vandooren, R.Rooyackers, S. De Gendt, M. M. Heyns, and G.Groeseneken, *Solid-State Electronics* (2011), 65, 28-32.

[3] P.Periwal, F. Bassani, G. Patriache, L. Latu-Romain, V.Brouzet, B.Salem and T.Baron, *Phys. Status. Solidi A*, **2014**, 1-5.

Croissance sélective de nanofils par EPVOM : influence des paramètres de croissances et comparaison avec des microfils auto-assemblés.

Pierre Marie COULON, Blandine ALLOING, Virginie BRANDLI, Monique TEISSEIRE, Philippe VENNEGUES, *Mathieu LEROUX*, Jésus ZUNIGA-PEREZ

CRHEA-CNRS, Rue Bernard Grégory, F-06560 Valbonne, FRANCE

Auteur contact : ba@crhea.cnrs.fr

Mots clés : Nanofils, nitrure de gallium, polarité, cathodoluminescence, microscopie électronique en transmission

La croissance sélective de nanofils (NFs) de GaN sur substrat de polarité Ga par épitaxie en phase vapeur aux organométalliques (EPVOM) est réalisée au travers d'un masque diélectrique nano-structuré obtenu par lithographie électronique. L'influence des paramètres de croissance est décrite: la formation de NFs est initiée pour de très faibles flux d'ammoniac associés à de très faibles rapports V/III alors que la croissance latérale est contrôlée en ajustant le flux d'ammoniac, la température de croissance et le ratio H_2/N_2 . L'influence de la géométrie du masque sur la morphologie des NFs et leur homogénéité en taille est aussi présentée. Les propriétés structurales et optiques des NFs sont étudiées par microscopie électronique en transmission (MET), cathodoluminescence (CL) et microphotoluminescence (μ PL). En particulier, nous pointons l'absence de défauts en bord de masque ainsi que la courbure des dislocations traversantes après quelques centaines de nanomètres. D'autre part, nous montrons aussi que ces NFs sont unipolaires et conservent donc la polarité Ga du pseudo-substrat de GaN. Les spectres de CL montrent que les propriétés optiques de bord de bande sont très homogènes, mais présentent une largeur élevée, dont l'origine reste encore à déterminer (fort dopage résiduel ou effets de surface).

En comparaison, des micropiliers (μ Ps) auto-assemblés de GaN ont également été épitaxiés par EPVOM sur substrat saphir nitruré [1]. Dans ce cas, un apport de silane est nécessaire pour promouvoir la croissance verticale. Comme dans le cas précédent, ces μ Ps sont exempts de dislocations traversantes. Cependant, de par la nature du substrat employé et la très forte incorporation de silane, nous montrons, à partir des études structurales par MET, et optiques réalisées par CL, que ces μ Ps présentent systématiquement une double polarité Ga et N, ainsi qu'une forte différence d'incorporation d'impuretés et/ou de défauts structuraux selon la polarité de la zone étudiée [1]. Les μ Ps ainsi obtenus présentent donc des propriétés optiques très inhomogènes, en comparaison des NFs obtenus par croissance sélective sur substrat de polarité Ga.

Références :

[1] P.M.Coulon, M.Mexis, M.Teisseire, M.Jublôt, P.Vennégues, M.Leroux, J.Zuñiga-Perez, J. Appl. Phys. **115**, 153504 (2014)

Développement d'un procédé de nanoimpression thermique pour la réalisation grande échelle de réseau de nanofils III-V.

Emmanuel Daran^{1,2}, Amandine Lestras^{1,2}, Aurélie Lecestre^{1,2}, Sébastien Plissard^{1,2}, Guilhem Larrieu^{1,2}

1: CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, BP 54200 F-31031 Toulouse Cedex4, France

2: Univ de Toulouse, LAAS, F-31031 Toulouse, France

Mots clés : NIL, nanofils verticaux, gold free, III-V sur Si.

La croissance de nanofils III-V sur substrat silicium sans catalyseur d'or a reçu une attention particulière au cours des dernières années car elle cumule plusieurs atouts comme (i) la synthèse de matériau à haute mobilité électronique et large gamme spectrale (ii) avec un faible niveau de défauts cristallins (iii) épitaxié sur une plateforme Si faible coût par (iv) un procédé compatible CMOS (gold free). Une approche répandue, dite croissance autocatalysée, consiste à utiliser l'élément III comme catalyseur, qui se localise sélectivement sur un substrat structuré par un réseau de nanotrous dans une couche de diélectrique [1].

Dans ce papier, nous présenterons le développement d'une approche de structuration de surface basée sur de la lithographie par nano-impression thermique, qui contrairement à l'approche conventionnelle par lithographie électronique, associe structuration nanométrique avec procédé simple, grande échelle et faible coût. Ce procédé a été mis au point sur un équipement Nanonex 250 avec la résine thermoplastique NX1025. Le moule en Si a été réalisé par lithographie électronique et gravure sèche [2]. Une optimisation des paramètres d'impression a permis l'obtention simultanée de nanotrous de 25nm de diamètre et d'aplats de 100µm de côté dans la résine. Une première étape de gravure sèche à base d'oxygène permet d'éliminer l'épaisseur résiduelle de résine en fond de motifs (15nm environ) et une seconde étape de gravure sèche à base de CHF₃ permet le transfert des différents motifs de la résine dans la couche de SiO₂ déposée sur un substrat Si. Après nettoyage et préparation de la surface, la couche de SiO₂ nanostructurée peut être utilisée pour la croissance localisée de nanofils. Une illustration de NFs de GaAs sur Si (111) obtenue dans de telles couches nanostructurées est donnée en Fig. 1b.

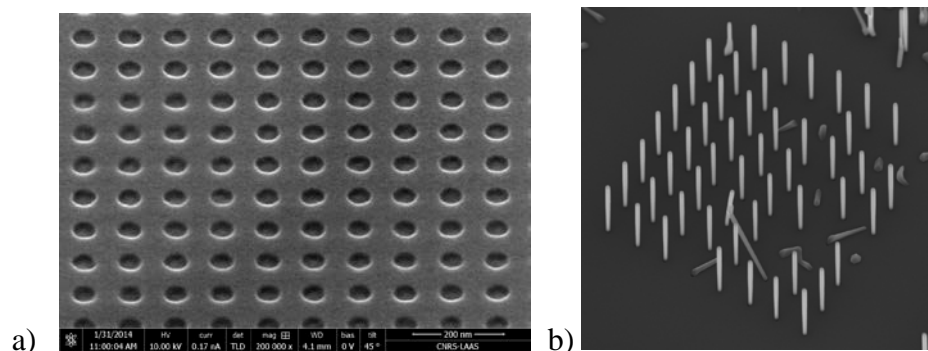


Fig.1 : Image MEB de a) réseau de nanotrous dans une couche de SiO₂ (12nm) obtenu par un procédé de nanoimpression. b) réseau de nanofils GaAs (diamètre 60nm, longueur 1 micron).

Références :

- [1] S Plissard, G Larrieu, X Wallart, P Caroff, Nanotechnology 22 (27), 275602, 2011.
- [2] Y Guerfi, F Carcenac, G Larrieu, Microelectronic Engineering 110, 173-176, 2013.

Plasma enhanced vapor-liquid-solid grown nanowires in thin silicon radial junction solar cells on glass

Martin FOLDYNA¹, Soumyadeep MISRA¹, Linwei YU^{1,2}, Wanghua CHEN¹, Jian TANG¹,
Pere ROCA i CABARROCAS¹

1: LPICM, CNRS, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau, France

2: School of Electronics Science and Engineering, Nanjing University, 210093 Nanjing, People's
Republic of China

Auteur contact : martin.foldyna@polytechnique.edu

Mots clés : Silicon nanowires, solar cells, radial junction, vapor-liquid-solid, PECVD

Recent progress in the development of nanostructured silicon solar cells has enabled the fabrication of devices with front and/or back nanopatterned absorbers using a relatively inexpensive nanoimprint patterning. While such solutions significantly improve the light trapping in thin silicon films, it still requires a sufficient thickness for this film in order to provide a competitive performance. Moreover, not all nanopatterns are easy to passivate and some have definitely substantial advantages, such as inverted pyramids. We are presenting an alternative solution with ultra-thin absorbers based on silicon nanowires.

Radial PIN junctions formed on the top of vapor-liquid-solid nanowires grown in plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) reactor provide an excellent light trapping and improved carrier collection for a high performance thin absorber devices. The demonstrated performance of these radial devices with hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) absorber is considerable with the initial energy conversion efficiency over 8 %. These results are very good for the 100 nm thick absorber and 0.8-1 μm long nanowires used in the solar cells [1,2]. Moreover, the high open circuit voltage values achieved (up to 0.8 V) demonstrate an excellent passivation quality, while light soaking studies have demonstrated a reduced degradation with respect to reference planar devices.

The excellent light trapping properties of randomly oriented radial junctions coupled with a remarkable passivation quality of these high surface-to-volume ratio devices can be even further improved. The loss in the external quantum efficiency in the blue spectral region can be reduced by exchanging the doped a-Si:H layer on the top of the radial junctions by more transparent silicon oxides. Moreover, we have demonstrated that a coating of nanowires by a-Si:H film with gradient doping significantly improves open circuit voltage up to 0.9 V.

We will present the current status of high efficiency low cost radial junction devices based on randomly oriented nanowires fabricated on the glass, with the latest results and future perspectives.

Références :

[1] S. Misra, L. Yu, M. Foldyna, P. Roca i Cabarrocas, *Sol. En. Mat. & Sol. Cells* **118**, 90 (2013).

[2] S. Misra, L. Yu, W. Chen, M. Foldyna and P. Roca i Cabarrocas. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **47**, 393001 (2014).

ZnO nanostructure synthesis via hydrothermal and electrospinning methods for gas sensor

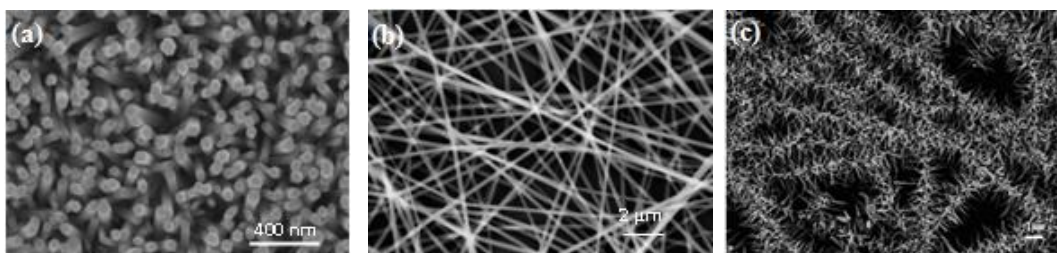
Yamina Ghozlane HABBA, Martine CAPO-CHICHI, Linda SERAIRI, and Yamin Leprince-Wang*

LPMDI – EA 7264, Université Paris-Est, UPEM, Marne-la-Vallée, France

*Email of corresponding author: yamin.leprince@u-pem.fr

Zinc oxide (ZnO) is a remarkable and very promising semiconductor in the development of new materials for renewable energy and the environment, due to its interesting properties such as wide band gap of 3.37 eV, large energy binding of 60 meV, non-toxicity, and low cost. ZnO owns also excellent bulk electron mobility and high transparency in visible region, which make it a good candidate for sensing gas application [1].

In this work, we present two methods for the ZnO nanostructure synthesis. The first one consists of the monocrystalline ZnO nanowire array growth via hydrothermal process, the obtained nanowire arrays own a high surface/volume ratio compare to the bulk or thin film materials. The second one consists of the polycrystalline ZnO nanofiber (NF) synthesis via electrospinning method [2]. Finally, we process the hydrothermal ZnO nanowire growth on the nanofiber using polycrystalline ZnO NF as seedlayer. Thus obtained ZnO nanostructure owns a higher surface/volume ratio than the first one. The improvement of the surface/volume ratio can lead a higher performance for gas sensor device. Our studies are focused on the relationship between the synthesis parameters and microstructure/morphology of ZnO nanowires/nanofibers SEM observations showed a quite homogeneous morphology under optimized growth conditions in both cases; while DRX patterns revealed a preferred orientation towards the *c*-axis for the ZnO nanowire arrays obtained via hydrothermal process and a polycrystalline structure for nanofibers obtained via electrospinning method. Both two types samples are explored for gas detection using optical (UV-Vis) and electrical measurements. A comparative study of the gas sensing performance has been carried out for two types ZnO nanostructure.



(a) Well controlled ZnO nanowire arrays grown toward *c*-axis with an excellent crystallinity obtained via hydrothermal method. (b) ZnO nanofibers obtained via electrospinning before annealing. (c) ZnO nanowires grown on the polycrystalline ZnO nanofibers.

References:

- [1] C. Chevalier-César, "Elaboration et characterization of ZnO nanowires for gases sensor application", Paris Est University's thesis (2013).
- [2] A. Sugunan, V. Guduru, A. Uheida, M. Toprak, M. Muhammed, "Radially Oriented ZnO Nanowires on Flexible Poly-L-Lactide Nanofibers for Continuous-Flow Photocatalytic Water Purification", Division of Functional Materials, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm 16440, Sweden.

HETEROSTRUCTURES LATÉRALES CŒUR-COQUILLE ZnO/ZnMgO SUR DES NANOFILS DE ZnO

S. A. Said Hassani*, C. Sartel, C Vilar, A. Lusson, V. Sallet et P. Galtier

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

*Auteur contact : said.hassani@uvsq.fr

Des nanofils de ZnO ont été élaborés en ayant recours au N₂O et au DEZn comme source d'oxygène et de zinc, respectivement. L'utilisation de N₂O exige une croissance à haute température (> 600°C). Une étude du diamètre et de la longueur des fils a été réalisée en fonction de la pression du réacteur comme le montre l'image de microscopie électronique à balayage présentées sur la figure de gauche. On constate que la croissance débute par une couche de mouillage et se poursuit avec la formation d'îlots avec une structure 3D présents à la base de chaque nanofils. C'est une croissance spontanée mais la modification des conditions de croissance nous permet de contrôler le diamètre et la taille des nanofils. Nous réalisons des fils dont le diamètre peut varier entre 30 nm et 300 nm et la hauteur entre 1 et 10µm. Ces fils présentent la particularité d'être facettés avec des plans de type M. Dans cette présente étude, l'objectif est la maîtrise de l'ingénierie de bande qui permet de réaliser des structures coeur-coquilles (barrières et puits quantiques latéraux) à base d'hétérostructures ZnO/ZnMgO. Dans notre cas, l'intérêt d'une croissance sur face M permet d'éviter l'effet Stark qui apparait sur les croissances sur plans polaires et ainsi d'améliorer le rendement optique des structures quantiques. Après la croissance des nanofils, nous avons donc réalisé des hétérostructures latérales. Des études de photoluminescence nous ont permis de déterminer la composition de l'alliage. Sur la figure de droite nous est présentée une hétérostructure avec un nanofil de ZnO cœur de 32 nm et un puits de ZnO de 10 nm d'épaisseur entouré de deux barrières de ZnMgO d'épaisseur 18nm avec 14% de Mg. Les études de microscopie électronique à transmission (MET) montrent un alliage ZnMgO ordonné ainsi que la présence de dislocations pour les concentrations de Mg les plus élevées. Par micro-photoluminescence réalisée sur nanofils individuels, on observe l'émission du bord de bande du cœur de ZnO ainsi que celle de la coquille de ZnMgO à plus haute énergie. Par ailleurs il apparait entre ces deux émissions une raie supplémentaire qui pourrait être attribuée au puits quantique latéral.

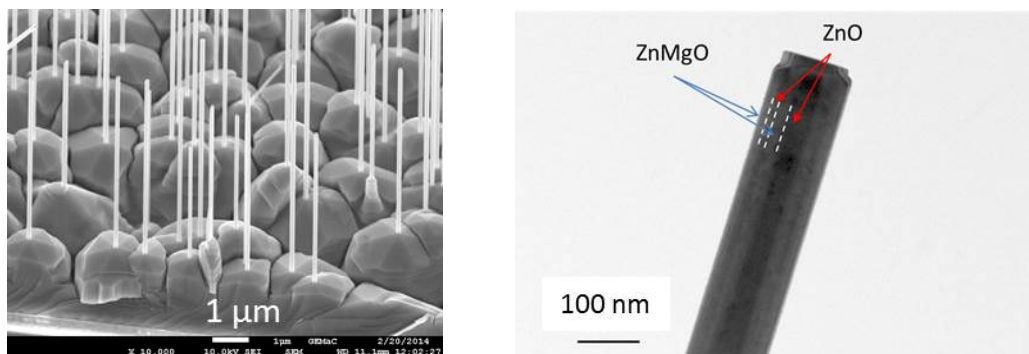


Fig. 1 : Image MEB des nanofils de ZnO (à gauche) et Image TEM (à droite) d' hétérostructure latérale ZnO/Zn_{0.86}Mg_{0.14}O

Nanofils cœur-coquille Ge/GaAs pour des applications photovoltaïques

Geraldine HALLAIS¹, Gilles PATRIARCHE², Charles RENARD¹, Laetitia VINCENT¹,
Daniel BOUCHIER¹

1 : Univ. Paris-Sud & CNRS, Institut d'Electronique Fondamentale, UMR 8622, Orsay F-91405, France

2 : CNRS, Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, UPR20, Site Alcatel de Marcoussis, Route de Nozay, Marcoussis, F-91460, France

Auteur contact : geraldine.hallais@u-psud.fr

(Géraldine Hallais)

Mots clés : croissance CBE, VLS, Nanofils cœur-coquille, Ge, GaAs, cellule solaire, cellule tandem.

Actuellement, les plus hautes performances en photovoltaïque sont obtenues à l'aide de cellules à triple jonction dont le concept repose sur l'utilisation de matériaux ayant des bandes interdites complémentaires afin de maximiser la récolte de photons dans une large gamme, tout en minimisant les pertes thermiques. Cependant, cette technologie souffre de coûts très élevés. Ici, nous proposons d'étudier la synthèse de Nanofils cœur-coquille en Ge/GaAs sur des substrats de Si peu coûteux pour des applications en cellules solaires tandems III-V. Les fils de Ge sans défaut ont été réalisés par croissance épitaxiale sur un substrat de Si en utilisant la méthode vapeur-liquide-solide (VLS), assisté par des catalyseurs d' Au [1]. Puis la coquille en GaAs a été réalisée par épitaxie en voie chimique (CBE) directement sur les nanofils de Ge. Ces deux matériaux présentent un très faible désaccord de maille permettant la relaxation des contraintes. Des observations en microscopie électronique à transmission sur les fils confirment que la structure cœur-coquille Ge /GaAs est monocristalline. La distribution de la coquille de GaAs autour du noyau Ge a été également étudiée par analyse EDX (Figure 1) et aucune trace d' Au n'a été observée à l'interface Ge et GaAs. Une alternative à l' Au comme catalyseur des fils de Ge a également été étudiée par formation in-situ de gouttes de Ga dans le bâti CBE.

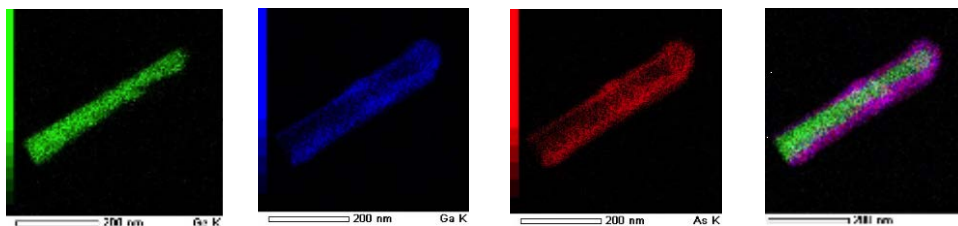


Figure 1: Imagerie TEM-EDX des nanofils Cœur-coquille Ge/GaAs. a) Ge, b) Ga, c) As and d) le nanofil coeur coquille Ge/GaAs devient clairement visible quand les 3 contributions sont additionnés.

Référence :

[1] Renard, *et al*, Thin Solid Film, 520 (2012) 3314

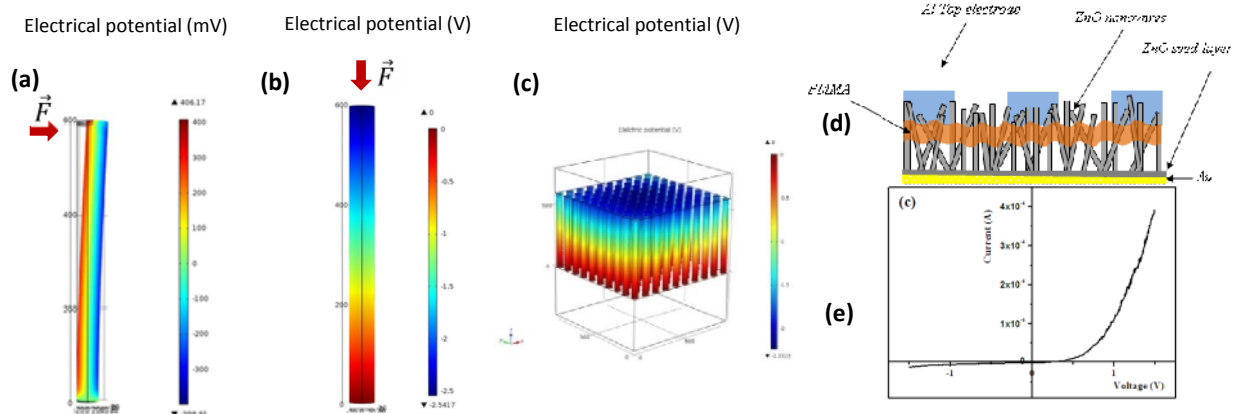
Energy harvesting based on ZnO nanowire arrays

Linda SERAIRI, Martine CAPO-CHICHI, Yamina Ghozlane HABBA, and Yamin Leprince-Wang*

LPMDI – EA 7264, Université Paris-Est, UPEM, Marne-la-Vallée, France

*Email of corresponding author: yamin.leprince@u-pem.fr

Zinc oxide (ZnO) is a II-VI metal oxide semiconductor with direct wide band gap of ~ 3.37 eV at room temperature, it's also an environment-friendly material. Over the last decade, ZnO nanowires have stimulated a lot of research interest due to their versatile interesting properties that put them among the most promising materials showing great potential applications, such as the renewable energy by piezoelectric effect or photovoltaic effect, also for the optoelectronics, electronics, and gas sensors etc. In this work, our effort is mainly focused on the piezoelectricity of ZnO nanowires aiming to fabricate the nanogenerator of electricity for self-powering devices [1]. In order to better understanding the energy harvesting mechanism based on the ZnO nanowire arrays, some simulations have been firstly carried out for single nanowire under bending configuration by a lateral force at the tip of nanowire [2], as well as under compression configuration. In each case, a systematic study of the nanowire morphology influence (such as diameter, length, and aspect ratio) on the generated electrical potential has been performed. Finally, the ZnO nanowire arrays (10x10), both under static force and periodic excitation, have been studied. Those simulations allow a better control during the ZnO nanowire array synthesis leading us to realize a better performance of nanogenerator device.



(a) & (b) simulation of the single ZnO nanowire under bending and compression, respectively; (c) nanowire arrays under periodic compression; (d) sketch of electrical mesaement and (e) Schottky junction between ZnO nanowires and Au.

References:

- [1] Y. Gao and Z.L. Wang, «Electrostatic Potential in a Bent Piezoelectric Nanowire. The Fundamental Theory of Nanogenerator and Nanopiezotronics», *Nano Letters*, **7**, 2499-2505 (2007).
- [2] Falconi.C, Mantini.G, D'amico.A, Z.L. Wang, «Studying piezoelectric nanowires and nanowalls for energy harvesting», *Sensors and actuators*, **B 139**, 511-519 (2009).

FERROMAGNETISME INDUIT DANS DES NANORODS DE ZnO PAR MODIFICATION MORPHOLOGIQUE SOUS ATMOSPHERE CARBONE-AZOTE

B. Sieber¹, J. Salonen², E. Makila², M. Tenho², M. Heinonen², H. Huhtinen³, P. Paturi³, E. Kukk², G. Perry⁴, A. Addad¹, M. Moreau⁵, L. Boussekey⁵ and R. Boukherroub⁴

1: UMET, UMR CNRS 8207, Université Lille 1, 59655 Villeneuve d'Ascq Cédex, FRANCE

2: Department of Physics and Astronomy, University of Turku, Finland.

3: Wihuri Physical Laboratory University of Turku, FI-20014 Turku, Finland.

4: IRI-CNRS USR 3078, Université Lille1, 59658 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

5: LASIR, UMR CNRS 8516, Université Lille 1, 59655 Villeneuve d'Ascq Cédex, France.

Auteur contact: brigitte.sieber@univ-lille1.fr

Mots clés : ZnO, nanorods, ferromagnétisme

Il est connu que les semiconducteurs peuvent devenir ferromagnétiques en présence d'impuretés non magnétiques. Ainsi, après dopage au carbone, les nanostructures de ZnO deviennent ferromagnétiques avec une température de Curie supérieure à la température ambiante. Néanmoins, il est assez difficile de doper ZnO avec du carbone; de plus le dopage se fait en général de façon *in situ*, ce qui limite les méthodes de fabrication. Enfin, l'origine du magnétisme n'est pas encore bien déterminée, bien que plusieurs expériences aient été publiées.

Dans ce papier nous décrivons une méthode simple de préparation de nanorods ferromagnétiques de ZnO. Cette méthode consiste à carboniser les nanorods, à haute température, avec un mélange acétylène-azote. Les nanorods sont préparés par synthèse hydrothermale. Nous les avons caractérisé avant et après carbonisation par diffraction X, spectroscopies micro-Raman et XPS, photoluminescence, ainsi que par Microscopie Electronique en Transmission et à Balayage.

Les carbonisations réalisées à des températures inférieures à 800 °C n'induisent pas de changement morphologique des nanorods, tandis que celles réalisées à des températures supérieures à 800°C provoquent une érosion significative des rods qui deviennent alors des structures tubulaires creuses. Les spectres XPS indiquent également une perte significative de zinc. Les échantillons traités au-dessus de 800°C sont ferromagnétiques et la magnétisation augmente avec la température de carbonisation (jusqu'à 1.45 emu/cm³ à 5K). Le recuit thermique sous atmosphère d'azote n'induit aucune modification morphologique ni aucun ferromagnétisme; ceci montre que l'érosion des rods résulte de la présence de carbone (acétylène).

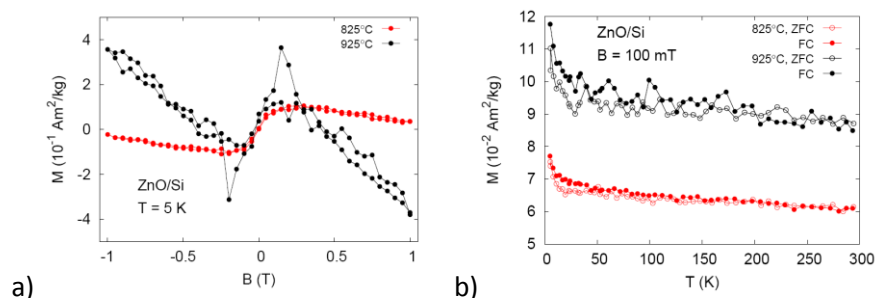


Figure N° 1 : ZnO nanorods on Si carbonized at 825°C and 925°C under acetylene and nitrogen. a) magnetization loops at 5 K b) magnetization measured during ZFC (zero-field-cooled) and FC (field-cooled) runs in a magnetic field of 100 mT.

Une interprétation cohérente des résultats nous permet de suggérer que le ferromagnétisme observé dans les nanorods carbonisés de ZnO est dû à des clusters carbone-azote localisés à la surface des nanorods érodés d'allure filamentaire¹.

ETUDE DU DOPAGE EX-SITU DES NANOFILS DE ZnO PAR DIFFUSION D'arsenic, DE PHOSPHORE ET D'ANTIMOINE

Emir ZEHANI¹, Said HASSANI¹, Alain LUSSON¹, François JOMARD¹,
Jackie VIGNERON², Arnaud ETCHEBERRY², Vincent SALLET¹ et Pierre GALTIER¹

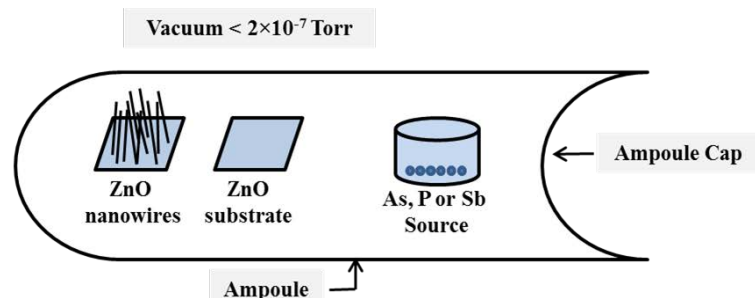
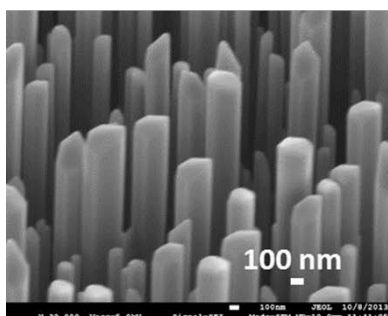
¹ Groupe d'Etude de la Matière Condensée, CNRS – Université de Versailles St Quentin, 45 av des Etats Unis, 78035 Versailles France

² Institut Lavoisier Versailles, CNRS – Université de Versailles St Quentin, 45 av des Etats Unis, 78035 Versailles France

Auteur contact : emir.zehani@uvsq.fr

Le dopage de type p de ZnO est un verrou dont la levée est indispensable pour le développement de composant optroniques actifs comme les LEDs. Très peu de résultats convaincants de dopage ont été obtenus jusqu'à présent sur des échantillons massifs ou bien en couches minces. L'idée d'incorporer les dopants dans des nanostructures comme des fils de ZnO a été proposée récemment pour tirer profit notamment de leur grande qualité cristalline.

Le travail présenté ici a pour objectif d'étudier le dopage « p » des nanofils de ZnO par une méthode ex-situ : la diffusion de l'arsenic (As), du phosphore (P) ou de l'antimoine (Sb) à partir d'une source en phase gazeuse Zn_3As_2 , Zn_3P_2 ou Sb_2O_5 . Pour cela, des nanofils de ZnO ont été élaborés par la technique MOCVD sur substrat saphir d'orientation A. Les diffusions des atomes d'As, de P et d'Sb ont été réalisées dans des ampoules scellées sous vide secondaire (10^{-5} bar) dans une gamme de température allant de 550 jusqu'à 800 °C pendant 5h. Les observations MEB montrent que la morphologie des fils commence à se dégrader à partir de 620-650°C. Les résultats obtenus en photoluminescence (PL) à basse température ne montrent pas la présence directe ou indirecte de centres accepteurs dans les fils. Les résultats sont confirmés par les mesures Raman pour lesquelles aucun mode additionnel attribuable au dopage n'est observé. Les analyses SIMS n'indiquent pas de profil de diffusion dans les cristaux témoins de ZnO. En revanche, nous observons, sur les fils dont la diffusion a été réalisée à 580°C pour Zn_3As_2 et à 620°C pour Zn_3P_2 , une nette amélioration des spectres de PL qui révèlent une diminution nette des contributions liées à l'exciton de surface. Ces résultats suggèrent que les défauts localisés à la surface des nanofils de ZnO peuvent être éliminés en utilisant un recuit sous atmosphère riche en zinc.



INCORPORATION DE L'AZOTE DANS LES NANOFILS ZnO

Emir ZEHANI¹, Vincent SALLET¹, Said HASSANI¹, Corinne SARTEL¹, Alain LUSSON¹,
Pierre GALTIER¹, Nooshin AMIRIFAR², Rodrigue LARDE², Etienne TALBOT²,
Philippe PAREIGE³, Fabrice DONATINI³, Julien PERNOT³.

1: Groupe d'Etude de la Matière Condensée (GEMAC), CNRS-UVSQ, 78035 Versailles.

2: Groupe de Physique des Matériaux (GPM), INSA-CNRS-Université de Rouen,
76801 St Etienne du Rouvray.

3: Institut NEEL- CNRS, Université de Grenoble-Alpes, 38042 Grenoble.

Auteur contact : emir.zehani@uvsq.fr

Mots clés : ZnO, nanofils, dopage, MOCVD

Il y a aujourd'hui un intérêt très fort de la communauté scientifique sur le sujet des nanostructures unidimensionnelles à base d'oxyde de zinc (ZnO), cela pour des applications dans les domaines des nano-LEDs, -générateurs, -capteurs ou encore nano-transistors. Au-delà de l'avantage d'une plus grande surface développée, une meilleure qualité cristalline est souvent obtenue sur les nanofils ZnO, en comparaison avec les couches minces, pouvant ainsi améliorer les capacités de dopage de type p de ce matériau, dopage p qui constitue encore un verrou technologique. L'effet de la surface sur les propriétés électriques est aussi à considérer.

Dans ce travail, la croissance MOCVD (metalorganic chemical vapor deposition) et le dopage azote in situ de nanofils ZnO sont présentés. Les nanostructures sont épitaxiées verticalement sur substrat saphir ainsi que sur substrat ZnO. L'évolution de la morphologie et des mécanismes de croissance est étudiée par microscopie à balayage. Des mesures optiques montrent des signatures spécifiques des dopants. En particulier, la spectroscopie Raman révèle des raies additionnelles à 275 et 580 cm^{-1} , et la photoluminescence à 4K identifie une transition "paires donneur-accepteur (DAP)", à 3,24 eV. Les deux techniques rendent compte d'une même concentration croissante des dopants le long du nanofil (vers le sommet). L'incorporation effective des atomes d'azote est mesurée par sonde tomographique avec des concentrations de l'ordre de 10^{20}cm^{-3} . Les caractérisations électriques sur un fil individuel (mesure de type FET) montrent néanmoins une conductivité de type n.

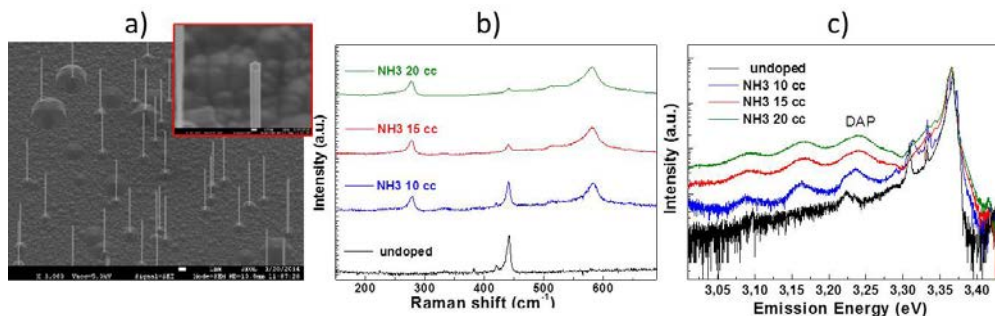


Figure : a) image MEB de nanofils dopés N élaborés sur saphir-plan A, b) spectres Raman et c) spectres PL à 4K de nanofils dopés avec différents flux de NH_3 .

Displaced Bragg Method to study *in situ* the bending of single crystal NWs

Tao ZHOU¹, O. Ulrich¹, O. Geaymond², O. Robach¹, P. Müller³ and G. Renaud¹

1 Univ. Grenoble Alpes, CEA, INAC/SP2M, F-38000 Grenoble

2 Univ. Grenoble Alpes, CNRS Institut Néel, F-38000 Grenoble

3 Aix-Marseille University CINAM CNRS-UMR 7325, 13288 Marseille

Author contact: gilles.renaud@cea.fr

Mots clés : Si, X-ray, nanowires, bending, strain, stress

The INS (In situ - Nanostructure - Surface/interface) end station of the BM32 beamline at the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) has been used for years to analyze the structural properties of nanoparticles *in situ*, during their growth, combining Grazing Incidence X-ray Diffraction (GIXD) and Grazing Incidence Small Angle X-ray Scattering (GISAXS) [1]. An auxiliary UHV-CVD injection system has been recently added to allow investigations of the VLS and VSS growth of Si/Ge NWs [2].

We present a novel approach (dubbed the Displaced Bragg Method [3]) for the quantitative study of mechanical properties of NWs under static bending. The bending was induced, in our case, by depositing a second material on one side of the NWs and was measured solely by X-ray diffraction techniques. The strain profile along the longitudinal direction of the NWs is obtained by analyzing the position shift of the displaced Bragg peaks whereas the total stress (or force) applied on the NWs is deduced by fitting the NW curvature, retrieved from the integrated intensities of the displaced Bragg peaks, with a formula based on classic beam theory.

Two cases will be presented to illustrate the capabilities of the method. The bending induced by Ge deposition on Si NWs sidewall at 220°C is found to be mainly driven by the misfit stress, which scales almost linearly with Ge film thickness. On the other hand, the bending induced by the same deposition on Si NWs sidewall at RT is driven by the surface stress, which evolves from tensile eventually to compressive in the later stage of Ge growth. Finally, the so-called Stationary Method will also be presented, which allows us to follow in real time, though mostly qualitatively, the entire bending process in a time efficient manner.

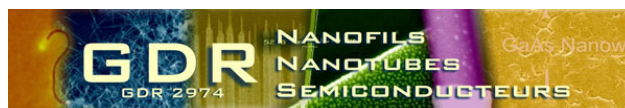
The aforementioned method is not limited to study just the surface/interface stress applied on static bent NWs. If, for instance, the bending force is known *a priori*, the method could be used to extract Young's modulus of the NWs, which might or might not depend on their size and surface conditions (reconstructed, oxidized, etc.). The method is applicable to all kinds of single crystal system, being it a massive amount of objects (thin film on wafer, NW arrays) or a single object (microcantilever, unique NW), depending on the focused size of the beam spot.

Références :

[1] G. Renaud, R. Lazzari, F. Leroy Surf. Sci. Rep. 64, 255-380 (2009).

[2] V. Cantelli, O. Geaymond, O. Ulrich, T. Zhou, N. Blanc and G. Renaud, Journal of Synchrotron Radiation, submitted.

[3] T. Zhou et al, in preparation

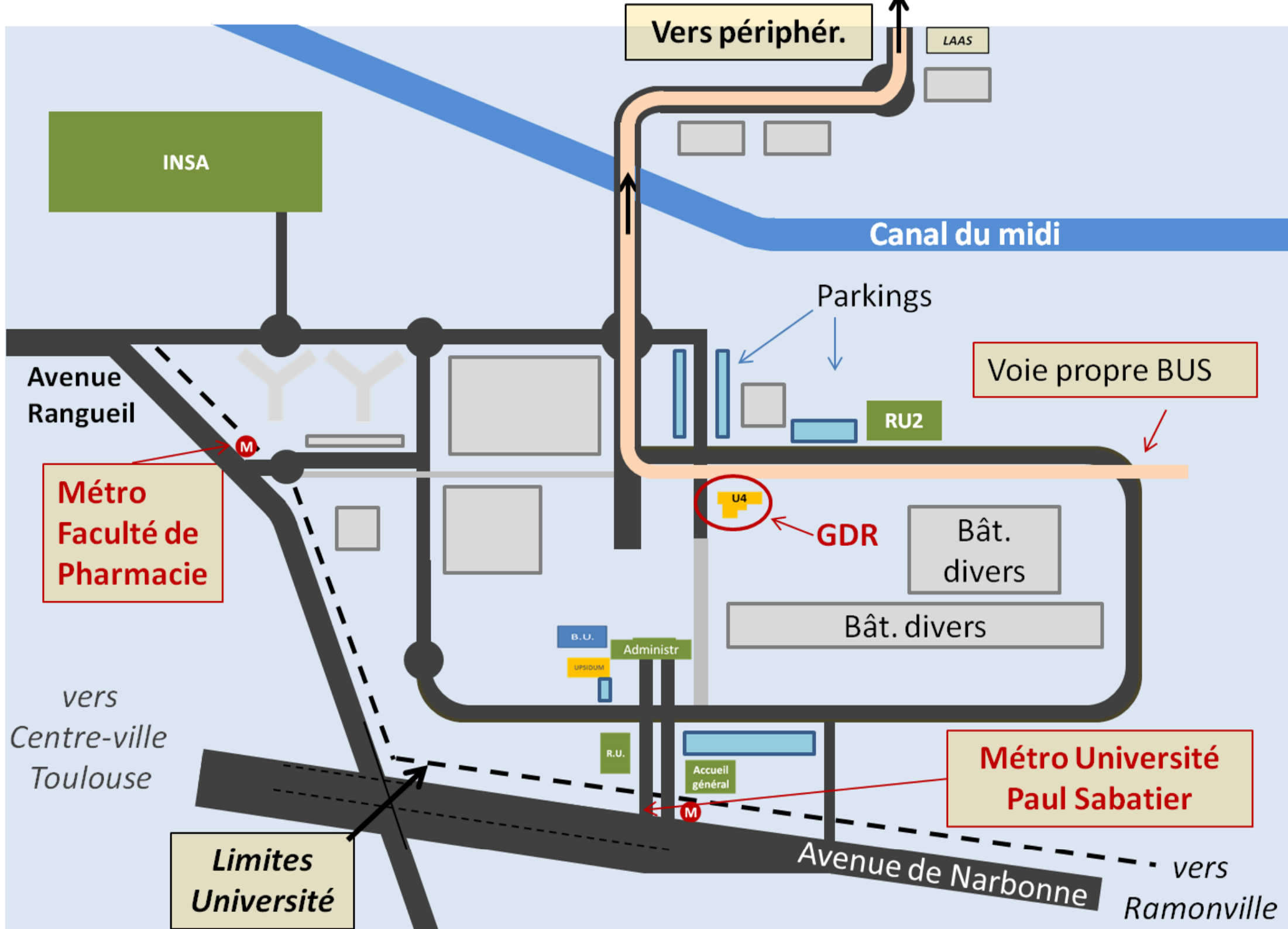


Plans d'Accès



Toulouse

27-31 octobre 2014



Vers périphér.

LAAS

INSA

Canal du midi

Parkings

Avenue Rangueil

Voie propre BUS

RU2

Métro Faculté de Pharmacie

U4

GDR

Bât. divers

Bât. divers

B.U.

Administr

UPSIDUM

R.U.

Accueil général

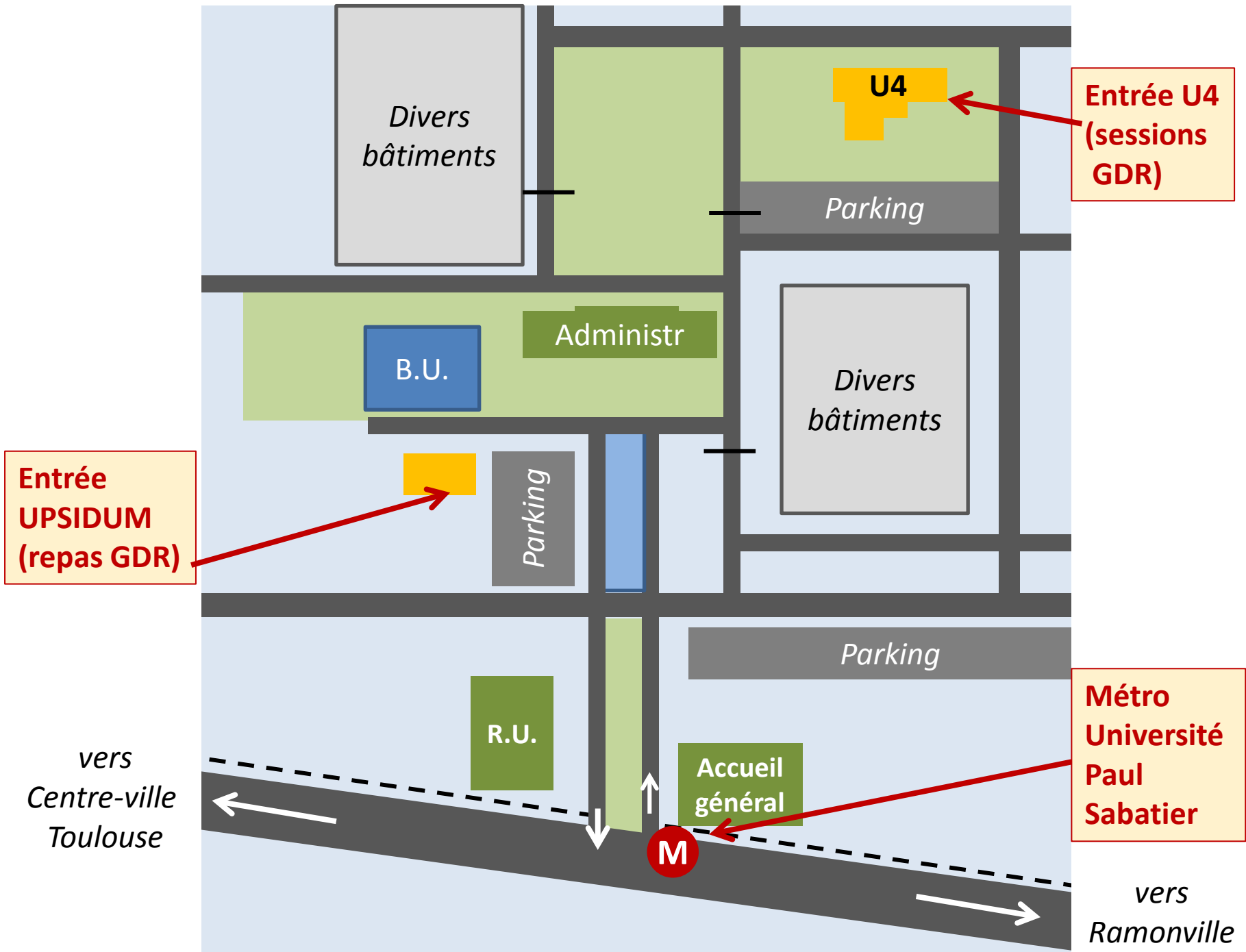
Métro Université Paul Sabatier

vers Centre-ville Toulouse

Limites Université

Avenue de Narbonne

vers Ramonville



bât. U4

Vers
1er

Entrée - Posters

**Amphi
Concorde
(sessions)**

**et, au premier :
salle 103 (salle des thèses)
Pauses-café / sponsors**

(du Capitole)

Bd Carnot

**Métro
François Verdier**



Rue des frères Lyon

Place
Dupuy

Halle aux grains

Rue du pont Montaudran

Canal du midi

Restaurant,
Le Si Bémol
17, Place Dupuy

Port Saint-Etienne

Grand
rond

