



ANR-11-NANO-012



Compte Rendu de la réunion de lancement
du projet ANR-P2N 2011
« INSCOOP »

Intégration de Nanofils III-V sur SOI pour COnnexions Optiques sur Puce

Vendredi 4 Novembre 2011 à 10h,
Salle de réunion 2eme étage de l'INL-site ECL,
Ecole Centrale de Lyon, 36 avenue Guy de Collongue, 69134, Ecully

Participants

| Nom | Prénom | Affiliation | Mél | Tél |
|-----------------|-----------------|-------------|--|----------------|
| ANUFRIEF | Roman | INL | Roman.anufrief@insa-lyon.fr | 04 72 43 74 05 |
| BARAKAT | Jean-Baptiste | INL | Jean-baptiste.barakat@ec-lyon.fr | 04 72 18 60 86 |
| BARON | Thierry | LTM | Thierry.baron@cea.fr | 04 38 78 39 86 |
| BEN BAKIR | Badhise | CEA | Badhise.ben-bakir@cea.fr | 04 38 78 02 27 |
| BRU-CHEVALLIER | Catherine | INL | Catherine.bru-chevallier@insa-lyon.fr | 04 72 43 89 06 |
| CHAUVIN | Nicolas | INL | Nicolas.chauvin@insa-lyon.fr | 04 72 43 74 65 |
| DANESCU | Alexandre | INL | Alexandre.danescu@ec-lyon.fr | 04 72 18 60 58 |
| DUMONT | Hervé | INL | Herve.dumont@ec-lyon.fr | 04 72 18 62 43 |
| GENDRY | Michel | INL | Michel.gendry@ec-lyon.fr | 04 72 18 60 50 |
| GLAS | Frank | LPN | Frank.glas.@lpn.cnrs.fr | 01 69 63 60 79 |
| HACCOUN | Julien | ANR | Julien.haccoun@agencerecherche.fr | 01 73 54 81 97 |
| HARMAND | Jean-Christophe | LPN | Jean-christophe.harmand@lpn.cnrs.fr | 01 69 63 60 81 |
| JANCU | Jean-Marc | Foton | Jean-marc.jancu@insa-rennes.fr | 02 23 23 82 95 |
| LETARTRE | Xavier | INL | Xavier.letartre@ec-lyon.fr | 04 72 18 60 81 |
| PATRIARCHE | Gilles | LPN | Gilles.patriarche@lpn.cnrs.fr | 01 69 63 61 73 |
| REGRENY | Philippe | INL | Philippe.regreny@ec-lyon.fr | 04 72 18 60 48 |
| SAINT-GIRONS | Guillaume | INL | Guillaume.saint-girons@ec-lyon.fr | 04 72 18 65 97 |
| SALEM | Bassem | LTM | Bassem.salem@cea.fr | 04 38 78 24 55 |
| SEASSAL | Christian | INL | Christian.seassal@ec-lyon.fr | 04 72 18 60 64 |
| | | | | |
| Absents excusés | | | | |
| COSTARD | Julien | LPN | Julien.costard@lpn.cnrs.fr | |
| LARGEAU | Ludovic | INL | Ludovic-largeau@lpn.cnrs.fr | 01 69 63 61 74 |
| ROJO | Pedro | INL | Pedro.rojo-romeo@ec-lyon.fr | 04 72 18 65 41 |
| | | | | |

Ordre du jour

9h30 : Accueil-café

10h00 : Introduction (**M. Gendry-INL**)

10h30 : Mot de l'ANR- modalités, relations contractuelles et pratiques (**J. Haccoun**)

11h00 : Implication et savoir-faire des partenaires par tâche, verrous à lever

11h00 : Tâche 2 : Nanowire nucleation and orientation
M. Gendry-INL (+ H. Dumont-INL, T. Baron-LTM, G. Saint-Girons-INL)

11h30 : Tâche 3 : Core-shell InAsP/InP nanowires
JC. Harmand-LPN

12h00 : Tâche 4 : Substrate patterning and site controlled catalyst on SOI waveguide
B. Salem-LTM (+ B. Ben Bakir-CEA)

12h30 : Déjeuner

14h00 : Implication et savoir-faire des partenaires par tâche, verrous à lever (suite)

14h00 : Tâche 5 : Characterization and modelling of nanowire properties
JM. Jancu-Foton (+ G. Patriarche-LPN, J. Penuelas-INL, C. Bru-Cheavallier/
N. Chauvin-INL, F. Glas-LPN, A. Danescu-INL)

14h30 : Tâche 6 : Coupling of nanowire-based PhC resonator to SOI waveguide
B. Ben Bakir-CEA (+ X. Letartre-INL, C. Seassal-INL)

15h00 : Discussions autour des livrables à 6mois/1 an – organisation et liens à tisser

16h30 : Fin de la réunion

Pour les présentations, voir les fichiers pdf sur le site de INSCOOP (en cours)

1- Introduction

Présentation de M. Gendry-INL

Aspects administratifs et financiers :

- 5 laboratoires impliqués : INL, LPN, CEA-Leti, LTM et Foton.
- Pas d'accord de consortium.
- Cofinancement par la DGA : suivi par Rose Marie Capella.

- Aide de l'ANR : 871 k€ sur les 990 k€ demandés.
- T0 : 1^{er} Octobre 2011 pour 36 mois.

- Personnel financé par le projet :
 - 1 Doctorant 3 ans à INL (croissance) : Jean-Baptiste Barakat
 - 1 Doctorant 3 ans au LPN (croissance) : Julien Costard
 - 1 Post-doc 2 ans au CEA-Leti et LTM (structuration des substrats)
 - 1 Post-doc 1 an à INL et CEA-Leti (modélisation de la microsource et du couplage)

Aspects scientifiques

- Objectifs INSCOOP :
 - Interconnexions optiques sur puces pour la photonique silicium.
 - Intégration monolithique d'une microsource III-V sur silicium avec la technologie nanofils.
 - Croissance d'un réseau périodique de nanofils III-V sur un guide d'onde silicium.
 - Partage du mode optique entre la microsource à nanofils et le guide d'onde Si sur SOI.

- Verrous :
 - Nanofils à hétérostructure core-shell In(As)P/InP sur Si(111) (LPN).
 - Verticalité des nanofils sur Si(001) (INL).
 - Catalyseurs alternatifs à l'or (INL+ LTM).
 - Caractériser et modéliser la croissance des NFs et leurs propriétés structurales et optiques (Foton, LPN, INL).
 - Structuration des substrats, catalyseur, SOI (LTM, INL, CEA-Leti).
 - Résonateur optique à nanofils et partage du mode optique entre ce résonateur et le guide d'onde Si sur SOI (CEA-Leti et INL).

- Etat de l'art :
 - Des LEDs et lasers à nanofils III-V sur Si en 2010.
 - Papier récent de l'équipe de D.L. Huffaker (UCLA) sur la réalisation d'une cavité laser dans un cristal photonique fabriqué en technologie « bottom-up » avec des nanopiliers GaAs sur des substrats masqués de GaAs.
 - Présentation récente (IPRM 2011 à Berlin) de la même équipe qui vise l'intégration hétérogène de cristaux photoniques fabriqués en bottom-up par croissance sélective de nanopiliers GaAs sur substrat GaAs et reportés sur guide d'onde Si sur SOI. Le couplage visé avec le guide d'onde est cependant de nature différente de celui envisagé dans INSCOOP.

2- Messages de l'ANR

Présentation de J. Haccoun-ANR

Sur le programme P2N

- 27 projets P2N sélectionnés (sur 144 présentés) en 2011 pour une somme totale de 208 M€
- Moyenne : 770 k€ par projet/ 4 partenaires.
- Cofinancement DGA.

Point administratif

- Versement des avances environ 3 semaines après notification.
- Dépenses entre le 01.10.2011 et le 30.09.2014.
- L'aide n'est totalement acquise qu'après examen favorable du compte rendu de fin de projet.
- Engagement à rembourser le trop-perçu.

Vie et suivi scientifique du projet

- Communication/Valorisation :
 - Indiquer le n° du projet : ANR-11-NANO-012
 - Site web à créer
 - Publications : seulement celles postérieures au lancement du projet
 - Communications : Logo de l'ANR
 - Evénements ANR
- Suivi scientifique
 - Relation de confiance
 - Comptes rendus d'avancement :
 - o 1 CR à 6 mois : rapport de démarrage
 - o 1 CR à mi-parcours (printemps 2013)
 - o 1 CR à 36 mois
 - Revue à mi-parcours
 - Colloque de fin de projet (J3N, ..)

3- Implication et savoir-faire des partenaires par tâche, verrous à lever

Tâche 2 : NWs nucléation et orientation (Resp. M. Gendry-INL)

Présentation de M. Gendry-INL

Rappel de quelques spécificités de la croissance VLS-MBE de nanofils InP sur substrat Si :

- Diamètre critique de la goutte du catalyseur pour une croissance des nanofils : $D_g < 33$ nm.
- Croissance d'une couche 2D rugueuse d'InP entre les nanofils.
- Forte croissance radiale pour des nanofils de longueur supérieure à 1-2 μ m : nanofils coniques.
- Nanofils « aiguille » avec directions de croissance Si[111] et nanofils « crayon » avec directions de croissance équivalente Si[115] en fonction du diamètre du catalyseur ($D=7-15$ nm pour les nanofils aiguille et $D=15-30$ nm

pour les nanofils crayon. Pour ces derniers, l'inclinaison est de $\sim 16^\circ$ par rapport à la verticalité sur Si(001) et cette voie pourrait être exploitée.

- Structure wurzite des nanofils d'InP.
- La densité des fautes cubiques est fonction des conditions de croissance (T_G , rapport V/III) et est d'autant plus faible que la vitesse de croissance est élevée.

Sous-Tâche 2.1 : Alternative to Au catalyst (Resp. : H. Dumont-INL)

Présentation de H. Dumont-INL

- Savoir-faire INL en auto-catalyse avec des gouttes d'indium : couche de SiO₂ de surface à contrôler.
- Savoir-faire INL sur la croissance sélective sur substrat patterné SiO₂/Si pour la croissance avec ou sans catalyseur au fond des trous:
Réseau de trous de 100 nm de diamètre, croissance d'InP localisée dans les trous mais pas de croissance de nanofils.
- Autre catalyseur de type PtIn sur la base du savoir-faire LTM avec PtSi pour la catalyse des nanofils silicium (*Présentation T. Baron-LTM*).

Sous-Tâche 2.2 : Vertically standing NWs on Si(001)

(Resp. : G. Saint-Girons-INL)

Présentation de G. Saint-Girons-INL

- Savoir-faire INL sur la croissance de NFs InP sur substrat SrTiO₃ (STO).
- Savoir-faire INL sur la croissance de couche épitaxiale de STO sur silicium.
- Etat de compréhension de l'interface InP-STO et critères pour privilégier la croissance des plans InP(111) parallèles aux plans Si(001).

Tâche 3 : Core-shell nanowires (Resp. JC. Harmand-LPN)

Présentation de JC. Harmand-LPN

- Réflexions et savoir-faire LPN sur les structures cœur-coquille :
pour le cœur : alliage à 1 seul élément III: InP_{1-x}As_x ($x > 0.28$) pour $\lambda > 1.2 \mu\text{m}$
pour la coquille : gap plus grand sans trop de désaccord de maille : InP.
- Savoir-faire sur la fabrication de boîtes InAsP (LPN) et de boîtes InAs (INL) dans des nanofils InP.
- Savoir-faire LPN sur la réalisation de structures core-shell InAsP/InP.
- Rappel de l'influence des conditions de croissance sur le ratio des phases Wz/ZB dans les nanofils InP.
- Impact positif de l'introduction de l'As dans les nanofils d'InAsP pour la stabilisation de la phase Wz.
- Influence de phase cristalline sur la nature des facettes.
- Influence du mélange de phase sur les propriétés optiques des nanofils d'InP.
- Savoir-faire LPN en auto-catalyseur Ga de nanofils de GaAs.

Tâche 4 : Substrate patterning and site-controlled catalyst on SOI waveguide (Resp. B. Salem-LTM)

Sous-Tâche 4.1 : Catalyst-patterning on Si (or STO/Si) and on SiO₂/Si (or SiO₂/STO/Si (Resp. : P. Rojo-INL)

Présentation de B. Salem-LTM

- Savoir-faire du LTM à la PTA sur la localisation de plots de catalyseur de diamètre allant de 50 nm à 300 nm sur substrat Si par lithographie électronique (JEOL 6300 FSB-100 kV et lithographie électronique RAITH-30kV) avec résine PMMA et lift-off, et sur la croissance de nanofils de Si sur ces substrats.
- Savoir-faire LTM à la PTA sur la localisation de catalyseurs dans des trous dans SiO₂ (diamètre de 80 nm) sur Si et sur la croissance de nanofils Si sur ces substrats.
- Savoir-faire INL sur le patterning de réseaux de trous de 100 nm de diamètre sur substrat SiO₂/Si et sur la croissance d'InP sans catalyseur au fond des trous (avec tâche T2.1).

Sous-Tâche 4.2 : Catalyst-patterning on SOI waveguide (Resp. : JM. Fedeli-CEA-Leti)

Présentation de B. Ben Bakir-CEA-Leti

- Savoir-faire CEA-Leti sur la réalisation des guides d'ondes Si sur substrat SOI
- Savoir-faire du CEA-Leti sur le couplage avec tapers, guides, jonctions adiabatiques.
- Remarque sur la structuration latérale du guide d'onde à envisager pour un meilleur couplage.

Tâche 5: NWs characterization and modeling (Resp. JM. Jancu-Foton)

Présentation de JM. Jancu-Foton

Sous-Tâche 5.1 : Structural characterization (Resp. : G. Patriarche-LPN)

- Instruments de diffraction X à l'INL (Smartlab Rigaku à anode tournante) et savoir-faire sur la détermination des directions de croissance des nanofils (J. Penuelas-INL).
- Instruments de microscopie TEM/STEM au LPN (JEOL 2200 FS avec sonde à correction d'aberration chromatique) et savoir-faire LPN en imagerie STEM-HAADF, en analyse de contrainte par GPA (G. Patriarche-LPN).
- Instruments de diffraction X au LPN (Smartlab Rigaku à anode tournante) et savoir-faire LPN sur la détermination de champs de contrainte (G. Patriarche, L. Largeau-LPN).

Sous-Tâche 5.3 : Optical characterization (Resp. : C. Bru-Chevallier-INL)

- Bancs de photoluminescence à l'INL et savoir-faire INL sur la caractérisation optique des nanofils d'InP/Si et d'InAs/InP/Si en population ou individuels (μ -PL), mesures de durées de vie par PL résolue en temps (N. Chauvin-INL).
- Le savoir-faire LPN en caractérisation optique par PL a été présenté par JC. Harmand.

Sous-Tâche 5.4 : Modeling of NW electronic structure
(Resp. : JM. Jancu-Foton)

- Savoir-faire Foton sur la modélisation de structures électroniques par des calculs ab-initio et par des modèles k.p en liaisons fortes.

Sous-Tâche 5.2 : Modeling of nucleation and VLS growth (Resp. : F. Glas-LPN)
Présentation de F. Glas-LPN

- Rappel sur le savoir-faire LPN en modélisation self-consistante de la croissance VLS-MBE pour le contrôle de structure cristalline des nanofils III-V, sur la cinétique de croissance des nanofils et sur les effets statistiques de la croissance.
- Extension à l'auto-catalyse prévue dans le projet INSCOOP.

Présentation de A. Danescu-INL

- Présentation des modèles discrets (VFF) qui seront développés à l'INL pour la modélisation de propriétés structurales et mécaniques des nanofils III-V.
- Présentation des modèles discrets (de type VFF pour les phases ZB et WZ) et/ou continus (élasticité classique anisotrope) qui seront développés à l'INL pour la modélisation des contraintes et déformations dans les nanofils à structures cœur-coquille.

Tâche 6: Coupling of NWs-based resonator to SOI waveguide
(Resp. : B. Ben Bakir-CEA-Leti)

Sous-Tâche 6.1 : Simulation of NWs-based PhC resonators and of the coupling to a SOI waveguide (Resp. : X. Letartre-INL)

Présentation de X. Letartre-INL

- Présentation des outils de modélisation du champ électromagnétique : FDTD, ondes planes, modèles semi-analytiques (modes couplés), qui seront développés à l'INL en collaboration avec le CEA-Leti pour optimiser le design du microrésonateur basé sur un réseau périodique de nanofils (recherche d'un fort Q/V) et pour optimiser le « couplage » avec le guide d'onde sur SOI.
- Voies de conception envisagées :
 - o Les nanofils peuvent, dans un premier temps, être utilisés comme un milieu à gain « facilement » épitaxiables sur silicium. Ils forment alors, avec la membrane silicium, un (meta)matériau optique hybride. Le confinement latéral des photons est alors défini uniquement dans la membrane silicium (microdisque par exemple). Dans ce cas, le gain

étant proportionnel au nombre de nanofils dans la cavité, on a plutôt intérêt à réaliser une forte densité de nanofils ; on a, par contre, peu de contraintes sur les dimensions et l'organisation.

- Une deuxième phase de l'étude cherchera à exploiter les réseaux de nanofils comme des objets photoniques, typiquement des CP. Les dimensions caractéristiques des nanofils seront alors : hauteur > 250 nm, diamètre~300-500 nm, période~700-900 nm (pour 1.5 μm , multiplier par 0.87 pour 1.3 μm). Là encore 2 possibilités peuvent être envisagées :
 - Réseaux périodiques homogènes de piliers : on exploite alors une variation locale d'indice vue par un mode de Bloch lent du CP pour confiner latéralement. Cette variation peut être définie dans le silicium ou la silice supérieure.
 - On réalise le confinement latéral en modifiant localement le diamètre ou la période des piliers.

Sous-Tâche 6.2 : Planarization of III-V NWs on waveguide

(Resp. : H. Bono-CEA-Leti)

Présentation de B. Ben Bakir-CEA-Leti

- Savoir-faire du CEA-Leti sur la planarisation et l'intégration de nanofils GaN par SiO₂ déposée puis polie et attaquée par HF.

Sous-Tâche 6. 3 : Characterization of NWs-waveguide coupling

(Resp. : C. Seassal-INL)

Présentation de C. Seassal-INL

- Présentation du banc d'optique guidée de l'INL qui sera utilisé pour caractériser le couplage des modes optiques du résonateur à nanofils avec les modes optiques du guide d'onde Si sur SOI et savoir-faire INL/CEA-Leti sur la mesure d'un couplage de lasers DFB avec un guide d'onde Si.

4- Programme de travail- Livrables à 6 mois/1 an

Tache 2 : NWs nucléation et orientation (Resp. M. Gendry-INL)

Rappel des livrables à 6 mois/1 an et actions à mener :

D2.1: Organized InP NWs grown on Si(001) or Si(111) with In and PtIn catalysts M12 (M0 to M12)

- Les conditions de croissance de NFs InP/Si avec des gouttelettes d'In seront étudiées à l'INL au cours de ces 6 premiers mois: taille et densité des gouttelettes, nature, homogénéité et épaisseur de la couche d'oxyde nécessaire en surface, conditions de croissance en particulier au lancement de la croissance. (T0 à T6). *JB. Barakat avec H. Dumont et M. Gendry.*
- Des croissances de nanofils seront réalisées sur des substrats Si(001) et Si(111) avec des plots d'In de diamètre voisin de 50 nm. *JB. Barakat avec H.*

Dumont et M. Gendry. Le patterning sera réalisé au LTM avec le masqueur de la PTA (des trous de diamètre voisin de 50 nm sont actuellement possibles dans une résine PMMA) et les substrats seront transmis à l'INL pour déposer de l'In et faire le lift-off. Voir tache T4. (T0 à T6). *B. Salem, P. Rojo.*

- Des croissances de nanofils seront réalisées sur des substrats Si(001) et Si(111) avec des plots de PtIn de diamètre voisin de 50 nm des que le LTM pourra introduire une charge d'indium dans leur évaporateur. Voir tache T4. (T6 à T12). *B. Salem, T. Baron.*

D2.2: Vertically standing InP NWs grown on STO/Si(001) M18 (M6 to M18)

- Des croissances de nanofils seront réalisées sur des substrats Si(001) patternés au LTM avec des plots d'or de diamètre le plus proche possible de 30 nm pour valider la croissance des nanofils crayons selon la direction [115]Si. Voir tache T4. (T0 à T6). *B. Salem, JB. Barakat avec M. Gendry.*
- Mise au point de la croissance de la couche de STO/Si(001) (T0 à T6). *JB. Barakat avec G. Saint-Girons.*
- Optimisation des conditions de croissance des nanofils d'InP sur substrat STO(001), en particulier l'augmentation de la densité des nanofils (T0 à T6). *JB. Barakat avec G. Saint-Girons et M. Gendry.*

D2.3: Au-free InP NWs grown on nanoholes in SiO₂/STO/Si(001) with minimal parasitic 2D growth M24 (M12 to M24)

- Pour préparer à ce livrable, des substrats SiO₂/Si(111) seront patternés au LTM avec différents réseaux (en taille et en périodicité) de trous dans SiO₂, pour l'INL. Voir tache T4. *B. Salem.* Des croissances de nanofils seront réalisées à l'INL sur ces substrats. (T0 à T6). *JB. Barakat avec H. Dumont et M. Gendry.*
- Des substrats SiO₂/STO/Si seront ensuite patternés au LTM lorsque la croissance de STO/Si sera maîtrisée. Voir tache T4. (T6 à T12). *B. Salem-LTM/P. Rojo-INL.*

Autre étude : Des nanofils InP avec « rods » InAs et une faible épaisseur de coquille InP a été demandé par G. Patriarche pour évaluer la composition des « rods » InAs par STEM-HAADF. *JB. Barakat avec M. Gendry.*

Tâche 3 : Core-shell nanowires (Resp. JC. Harmand-LPN)

Rappel des livrables à 6 mois/1 an et actions à mener :

D3.1 : Strong PL emission at $\lambda > 1.2\mu\text{m}$ from optimized InAsP/InP core-shell NWs fabricated on InP (111) B substrates using gold as catalyst. M12 (M0 to M12)

- L'étude de la croissance de nanofils d'InAsP/InP sur InP(111)B (T0 à T6) et sur Si(111) (T6 à T12) avec le cahier des charges de INSCOOP (longueur, diamètre, composition InAsP) sera réalisée au LPN avec des plots d'or obtenus par démouillage comme catalyseur (T0 à T6). *J. Costard avec JC. Harmand.*
- Etude sur les conditions de croissance pour conduire à des nanofils de diamètre le plus constant possible.

- Etude des conditions de croissance pour limiter les fautes cubiques dans les nanofils.
- Etude à faire sur le design cœur-coquille (épaisseur et composition) pour éviter les problèmes de relaxation plastique (en relation avec F. Glas et A. Danescu).
- Des substrats SiO₂/Si(111) patternés ont été demandés au LTM par JC. Harmand pour commencer à étudier l'auto-catalyse par de l'indium au LPN en travaillant sur le départ de la croissance (délai entre l'ouverture des flux d'indium et de phosphore, etc...). Différents réseaux en taille et en périodicité de trous dans SiO₂ seront présents sur ces substrats. Voir tâche T4. (T0 à T6). *B. Salem.*

Tâche 4 : Substrate patterning and site-controlled catalyst on SOI waveguide (Resp. B. Salem-LTM)

Rappel des livrables à 6 mois/1 an et actions à mener :

D4.1 : In and PtIn catalyst patterning on silicon substrates M12 (M0 to M12)

- Des substrats Si(001) et Si(111) (substrats Si nid de 1x1 cm²) seront patternés au LTM avec le masqueur de la PTA (des trous de diamètre voisin de 50 nm sont actuellement possibles dans une résine PMMA) et seront transmis à l'INL pour déposer de l'In et faire le lift-off. (T0 à T6). *Salem, P. Rojo.* Dans un deuxième temps, et après favorable de l'équipe technique de PTA, le LTM pourra aussi déposer l'indium et réaliser le lift-off.
- Une demande a aussi été faite pour fournir à l'INL des substrats Si patternés avec réseaux de plots d'or de diamètre le plus proche possible de 30 nm pour valider la direction de croissance [115]Si des nanofils crayons. (voir tâche T2). Actuellement des diamètres voisins de 50 nm peuvent être fournis. (T0 à T6) *B. Salem.* L'optimisation pour atteindre des diamètres de 30 nm sera menée par le LTM.
- Des substrats Si(001) et Si(111) (substrats de Si nid de 1x1 cm²) avec des plots de PtIn de diamètre voisin de 50 nm seront patternés au LTM pour l'INL (des que le LTM pourra introduire une charge d'indium dans leur évaporateur). (T6 à T12). *B. Salem, T. Baron.*

D4.2 : In and PtIn catalysts patterning on nanoholes-SiO₂/Si(001) M12 (M6 to M12)

- L'étude du patterning des substrats SiO₂/Si(111) sera menée au LTM et à l'INL (T0 à T12). Un point est à faire entre B. Salem et P. Rojo sur la mise en place de cette collaboration. Des substrats SiO₂/Si(111) (substrats de Si nid de 1x1 cm²) patternés seront livrés à l'INL et au LPN dès que possible. (T3 à T6). *B. Salem, P. Rojo.*
- L'influence de la nature de SiO₂, oxydation thermique ou déposée par CVD, sera évaluée. La SiO₂ thermique est privilégiée pour sa nature plus dense et certainement moins réactive avec les adatoms III-V. Son épaisseur pourra aussi être adaptée à la croissance visée.
- Les études se poursuivront par le patterning de In puis Pt-In au fond des trous des substrats SiO₂/Si (procédé lift-off avec masque dur). Le diamètre minimal

des trous permettant ce patterning sera évalué. (T6 à T12). *B. Salem, P. Rojo, T. Baron.*

D4.4 : Waveguides on SOI *M12 (M6 to M12)*

- Une première réflexion, voire une modélisation, doit être menée avant T6 autour du design du guide d'onde : hauteur, largeur, structuration latérale.

Tâche 5: NWs characterization and modeling (Resp. JM. Jancu-Foton)

Rappel des livrables à 6 mois/1 an et actions à mener :

D5.1 Report on the influence of strain on the emission in Core-Shell NWs *M6, M12*

D5.2 Report on the physics of the nucleation (influences of catalyst, STO, substrate orientation and growth conditions) *M12, M24, M36*

D5.3 Report on the influence of growth conditions, substrate and catalyst on the structural and optical properties of the NWs *M12, M24, M36*

D5.4 Ab-initio calculations of wurtzite parameters (scientific report) *M12*

- Il s'agit d'une part de rapports à fournir sur le travail de modélisation de la croissance VLS-MBE (F. Glas), des propriétés mécaniques des nanofils à structures cœur-coquille (A. Danescu-INL), de l'influence de la contrainte sur les propriétés d'émission des nanofils cœur-coquille InAsP/InP (JM. Jancu-Foton).
- La cartographie des déformations par STEM réalisées par G. Patriarche sont à comparer aux calculs réalisés par A. Danescu.
- Il s'agit d'autre part de mener les études de caractérisations structurales par TEM (G. Patriarche-LPN), diffraction de RX (J. Penuelas-INL, L. Largeau-LPN) nécessaires à la compréhension et à l'optimisation des propriétés structurales des nanofils fabriqués à l'INL et au LPN. Les échantillons à étudier seront discutés par les épitaxieurs et les « caractérisateurs ».
- La structure cristalline des nanofils fabriqués par auto-catalyse sera étudiée. G. Patriarche remarque que l'auto-catalyse Ga des nanofils de GaAs conduit à une structure cubique pure. La nucléation semblerait ne pas se faire au point triple (modèle de F. Glas). F. Glas se propose d'étudier ce point, les énergies de surface et d'interface avec l'indium étant différentes de celles avec le gallium. F. Glas note aussi que l'énergie des fautes d'empilement dans l'InP n'est égale qu'à 1/3 de celle dans InP et qu'il n'est pas sur, le cas échéant, que l'on produise des nanofils d'InP purement cubiques.
- La même démarche sera menée pour l'étude des propriétés optiques des nanofils, soit à l'INL (N. Chauvin) soit au LPN (J. Costard) en fonction des propriétés étudiées (à préciser par CBC et JCH).
- Des retours vers les modélisateurs seront faits pour affiner leur simulation.
- Des premiers retours de N. Chauvin vers JM. Jancu sont déjà prévus sur les propriétés optiques des nanofils InP et InAs/InP réalisés à l'INL.
- Des échanges sont à mettre en place autour des nanofils InAsP/InP entre JC. Harmand et JM. Jancu.

Tâche 6: Coupling of NWs-based resonator to SOI waveguide (Resp. : B. Ben Bakir-CEA-Leti)

Rappel des livrables à 6 mois/1 an et actions à mener :

D6.1: Design of a NWs-based photonic crystal resonator *M12 (M0 to M12)*

D6.2: Simulation of the coupling between the resonator and an SOI waveguide *M18 (M6 to M18)*

- Ces simulations sont prévues être réalisées par le post-doc commun INL/CEA-Leti dont le recrutement pourrait avoir lieu durant le premier trimestre 2012. Des premières informations sont données par X. Letartre pour guider le LPN dans la géométrie des nanofils InAsP/InP à produire : les dimensions caractéristiques des nanofils seraient les suivantes : hauteur > 300 nm (pour s'éloigner de la surface de nucléation qui pourrait avoir un impact sur la résonance) et inférieure à 1 μm (pour faciliter la résonance), diamètre~300-500 nm, période~700-900 nm (pour 1.5 μm , multiplier par 0.87 pour 1.3 μm). Questions en suspend : les outils de simulation ont besoin de paramètres d'entrées qui ne sont pas aujourd'hui totalement définis :
 - o Quels sont les indices optiques des matériaux constituant les nanofils (présence de contraintes mécaniques) ?
 - o Quelle sera la polarisation des émetteurs ?
- La hauteur optimale de la source InAsP dans le nanofil devra être évaluée pour faciliter le couplage.
- La longueur d'onde visée serait plutôt autour de 1,3 μm pour éviter les problèmes de contrainte (composition InAsP moins riche en As) et donc permettre la croissance d'une coquille plus épaisse. L'INL a cependant produit des nanofils cœur-coquille InAs/InP émettant à 1,5 μm sans qu'ils présentent des défauts de relaxation (le diamètre des nanofils ne dépassait cependant pas 100 nm). Du point de vue de la photonique, il n'y a pas de différence entre 1,3 μm et 1,5 μm . Du point de vue de la caractérisation optique, il n'y a pas non plus de difficulté à caractériser à l'INL des nanofils émettant à 1,5 μm . La sensibilité de la streak-caméra est cependant meilleure à 1,3 μm .
- Un couplage en mode TM semble être à privilégier car ces modes sont plus délocalisés que les modes TE et devraient donc conduire à un meilleur recouvrement entre le mode résonant et le matériau à gain (nanofils InAsP/InP). Interagir avec JM. Jancu sur ce problème de la polarisation selon que l'on a 1 nanofil unique ou une assemblée de nanofils.
- Evaluer la hauteur du guide pour optimiser la délocalisation du mode. Pour info, pour les guides ruban à 1,5 μm les largeurs et hauteurs du guide sont typiquement de 500 nm et 200 nm.
- Etude de l'influence de l'environnement, en particulier sur les indices optiques en présence : indice nanofil de 3 et indice de SiO₂ de 1,45. l'encapsulation avec d'autres matériaux peut être envisagée : Si₃N₄ par exemple. Interagir aussi avec JM. Jancu sur ce point.

5- Liens à tisser, réunions de travail et rapports à fournir

- A la vue des échéances pour la production de rapports à l'ANR et des réunions de suivi de projet qui sont typiquement à 18 et 36 mois, les réunions d'avancement de projet sont prévues environ tous les 9 mois. Le calendrier pour les prochaines réunions d'avancement de projet pourrait être celui-ci :
Juin 2012 au LPN
Mars 2013 au CEA-Leti ou au LTM
Décembre 2013 à Foton
Septembre 2014 à l'INL
- Un premier rapport à 6 mois sera cependant à fournir en mars 2013 qui devra pour beaucoup rendre compte du lancement de INSCOOP et des premières réalisations montrant le dynamisme du consortium...
- Les premiers liens à tisser sont certainement entre le LTM et l'INL et le LPN pour la fourniture des substrats patternés nécessaires à l'avancée des études de croissance. Une réunion de travail pourrait être envisagée entre ces laboratoires dans 4 à 5 mois.
- Les autres liens à tisser :
 - ▶ entre B. Salem et P. Rojo pour la mise en oeuvre des études sur le patterning des substrats SiO₂/Si.
 - ▶ entre N. Chauvin et JM. Jancu pour l'interprétation et la modélisation ? des résultats de PL déjà acquis sur les nanofils InP et InAs/InP réalisés à l'INL.
 - ▶ entre G. Patriarche, F. Glas et A. Danescu sur les contraintes développées dans les nanofils cœur-coquille InAsP/InP.
 - ▶ entre JM. Jancu et B. Ben Bakir pour échanger sur les problèmes de polarisation et de modes TM ou TE.
- Renforcer les liens existant déjà pour évaluer les propriétés structurales (G. Patriarche, L. Largeau, J. Penuelas) et les propriétés optiques (N. chauvin, C. Bru-Chevallier) des nanofils produits au LPN (JC. Harmand) et à l'INL (M. Gendry, H. Dumont) ou évaluer les propriétés structurales des templates STO/Si (G. Saint-Girons).

6- Last news

Les documents financiers signés ont été envoyés à l'ANR le mardi 8 Novembre. Mme Brigitte Eruam qui suit le projet avec J. Haccoun m'a informé le 22 Novembre que les décisions étaient à la signature de sa Directrice.

Les démarches pour la mise en place du site web pour le projet INSCOOP ont commencé: il devrait être hébergé par l'ECL.

L'idée serait d'y déposer le projet, les différentes présentations relatives aux réunions INSCOOP, aux conférences, etc..., les articles de la bibliographie relatifs au projet, les publications écrites dans le cadre du projet, les confs et dates de conf, etc... .

Enfin, je vous propose un logo pour vos présentations relatives à INSCOOP.
A vous de découvrir les symboles cachés....



Je l'ai inséré dans ma présentation « introduction » pour vous montrer ce que cela donne.

J'attends vos avis pour validation.

D'autres propositions peuvent être faites.