



ANR-11-NANO-012



Compte Rendu de la réunion à T0+36  
du projet ANR-P2N 2011  
« INSCOOP »

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

Mardi 30 septembre 2014 à 10h,

INL-site ECL

36 avenue G. de Collongue, 69134, Ecully

## Réunion T0+36 du projet ANR-P2N « INSCOOP »

Mardi 30 Septembre 2014 à 10h,  
A l'INL-site ECL,  
36 ave G. de Collongue, 69134, Ecully  
Salle de réunion du 2<sup>ème</sup> étage

### Ordre du jour

10h00 : Accueil-café

10h30 : Introduction-Infos M. Gendry

10h30 : Travaux-Résultats par tâche

15 mn : Tâche 6/Tâche 4 : Substrate patterning and site controlled catalyst on SOI waveguide + Resonator Modeling  
*C. Kopp, B. BenBakir -CEA, B. Salem-LTM, X. Letartre-INL*

15 mn : Tâche 3 : Core-shell GaInAs/GaAs self-catalyzed nanowires  
*F. Oehler, JC. Harmand -LPN*

15 mn : Tâche 2 : Self-catalyzed InP nanowires on Si and on patterned SiO<sub>2</sub>/Si substrates  
*M. Gendry, JB. Barakat, H. Dumont -INL*

15 mn : Tâche 5 : Modeling of the self-catalyzed nanowire growth  
*F. Glas-LPN*

15 mn : Tâche 5 : Polarization in InAs/InP nanowires  
*N. Chauvin-INL*

15 mn : Tâche 5 Piezoelectricity in InAs/InP nanowires  
*N. Chauvin-INL, (JM. Jancu-Foton),*

+ TEM structural characterization of nanowires  
*G. Patriarche-LPN*

12h30 : Déjeuner

14h30 : Discussions

**- timing final pour la réalisation du démonstrateur et de sa caractérisation**  
**- futur d'INSCOOP ?**

16h-17h : Fin de la réunion

*Présents : Nicolas Chauvin, Frank Glas, Jean Baptiste Barakat, Jean Christophe Harmand, Catherine Bru-Chevallier, Xavier Letartre, Hervé Dumont, José Penuelas, Fabrice Oehler, Bassem Salem, Franck Bassani, Christophe Kopp, Michel Gendry.*

*Absent excusé : B. BenBakir (remplacé par C. Kopp)*

## Introduction/infos Michel Gendry-INL

- acceptation de l'ANR pour une prolongation de 6 mois du projet inscoop. Nouvelle fin de projet : 31 mars 2015.
- invitation à participer au J3N à Lyon (12-14 nov 2014) pour une présentation orale de inscoop
- rappel des conclusions à T0+27 : en particulier sur le choix de la nouvelle filière de NFs : GaInAs/GaAs.
- Christophe Kopp responsable du labo « photonique silicium » au CEA-Leti remplace B. BenBakir (malade).

## Présentations par tâche

### Tâches 4 et 6 : Substrate patterning and site controlled catalyst on SOI waveguide + resonator modeling

**C. Kopp-CEA, B. Salem-LTM, X. Letartre-INL**

#### Plaques « test de croissance sur réseaux de trous » fournies la CEA

- rappel des conditions de process des 2 plaques CEA fournies à l'INL et au LPN : les conditions de gravure sont à transmettre par J. Harduin. Pb de la mauvaise découpe de la plaque LPN. Le gds en possession de C. Kopp n'est pas le dernier (celui des plaques envoyées à l'INL et LPN). A trouver... .
- questionnement sur une nouvelle plaque « test de croissance sur réseaux de trous » ? non, car il ne reste que 2 plaques SOI111.

#### Plaques « démonstrateurs » à venir

- discussion sur la patterning des plaques « démonstrateur » : suite à une discussion en juillet entre BBB et MG, il y a 2 voies envisageables : voie A « oxyde PECVD » et voie B « oxyde thermique » ; la voie A est privilégiée à cause du problème de la silice thermique formée pour protéger les flancs du guide d'onde qui ne résistera pas au traitement HF dilué final de désoxydation des fonds de trous.
- discussion sur le problème de la gravure finale du masque dur de SiO<sub>2</sub> : 3 solutions : 1-gravure RIE au CEA, 2-gravure RIE au CEA avec arrêt à qqes nm du Si pour une gravure finale chimique au LPN et 3- gravure chimique au LPN. La réflexion va se poursuivre pour une décision rapide (quinzaine).
- discussion sur le diamètre des trous : revu à la baisse par le LPN suite à leurs derniers résultats. Plutôt 30, 50 70 nm. Dernière réflexion à venir (quinzaine)
- discussion sur le nombre de NFs par guide : 40 NFs beaucoup pour la croissance (JCH, FO), 20 NFs bien pour X. Letartre pour avoir un effet réseau (de plus III-V/Si pas favorable la lumière fuit spontanément dans Si), 5 à 10 bien pour la croissance (JCH, FO), 5 suffisant pour l'émission (NC). L'idée serait de faire plusieurs types de guide avec réseaux de trous. Genre guides avec 5 10, 20 et 40 trous. A voir si c'est possible (CK et BBB). Décision dans la quinzaine.
- Valider le dernier design à plusieurs (CEA, LPN, INL)...

#### Derniers calculs (XL) :

- 1- la dispersion en taille (diamètre en particulier) des NFs qui est acceptable pour ne pas perturber le couplage est de 10% ; genre 100 nm +/-5 nm et ce pour un faible nombre de NFs (pour avoir un système « pas trop » résonant) : genre 5 à 10 NFs.
  - 2- passage de l'InP (n=3.2) à GaAs (n=3.4) pour les nanofils a une faible influence sur les propriétés des résonateurs :  $\Delta\lambda$  résonateur < 5 nm) et peut être compensée par les paramètres du masque et les conditions de croissance (diamètre final visé).
- rappel du design (simulation Z. Lin, envoyé à Badhise) : guide d'onde seul, guide avec réseaux 2D (5 rangées de 40 NFs), guide avec ligne de NFs périodique (40 NFs), guide avec « cavité » de NFs (10NFs 20NFs 10 NFs).

### Tâche 3 : Core-shell GaInAs/GaAs self-catalyzed nanowires

**F. Oehler-LPN**

- Rappel de la nouvelle stratégie : La stratégie proposée est donc de fabriquer des nanofils GaAs incluant des « puits quantiques » radiaux d'InGaAs. Le cœur sera un fil de GaAs autocatalysé de diamètre optimal (environ 70 nm). Puis le catalyseur (Ga pur) sera consommé pour basculer d'une croissance VLS à une croissance conforme. Des puits de GaInAs et des barrières de GaAs seront réalisés en croissance conforme.
- Des tests réalisés sur les masques CEA ont montré les problèmes liés à la gravure tout RIE (plutôt lié à la forme et au diamètre du trou que dû à un problème de fond de trou). Des études de croissance sur substrats patternés (au LPN)

ont permis de dégager «les conditions de trous (plutôt petits...) » et «les conditions de croissance » qui permettent d'avoir 90 à 95% de NFs verticaux. Des tests sur des lignes sont moins concluants, à travailler encore... .

- Les croissance de NFs core-shell vont démarrer.

## Tâche 2 : Self-catalyzed InP nanowires on Si and on patterned SiO<sub>2</sub>/Si substrates

**M. Gendry-INL**

- rappel de quelques résultats expérimentaux obtenus pour les nanofils InP auto-catalysée : 1- comparaison de la croissance sur substrats Si/SiO<sub>2</sub> épi-ready et Si/SiO<sub>x</sub> BOE, 2- comparaison de la croissance sur Si/SiO<sub>x</sub> BOE entre orientation 001 et 111, 3- images TEM cross-section des nanofils verticaux et inclinés montrant ou non une relation d'épitaxie si présence d'une couche de SiO<sub>x</sub> trouée ou non (nécessité d'avoir un oxyde de silicium fin et des trous jusqu'au silicium pour avoir une mobilité des adatoms III vers les trous – c'est la force motrice  $\mu$  SiO<sub>2</sub> -  $\mu$  Si qui va attirer les adatoms vers les trous et permettre la formation des gouttes d'élément III préalablement à la croissance des NFs proprement dite), 4- pas de croissance de nanofils sur les gouttes d'indium localisées dans les réseaux de trous sur les surfaces SiO<sub>2</sub> thermique 30 nm/Si du LTM.

Pour expliquer ces résultats, une étude par XPS a été menée sur ces surfaces de Si/SiO<sub>x</sub> et Si/SiO<sub>2</sub> et sur l'interaction de ces surfaces avec l'indium :

\* le spectre Si2p montre un shift sur la composante oxyde entre la surface SiO<sub>2</sub> épi-ready et SiO<sub>x</sub> BOE qui indique une moins bonne saturation des liaisons pour cette dernière (shift vers les basses énergies).

\* l'interaction avec l'indium montre une composante In-O (épaulement à 1.3 eV de la composante In-In) sur le spectre In3d. Elle est très faible pour SiO<sub>2</sub> épi-ready et relativement forte pour SiO<sub>x</sub> BOE. Une réaction entre SiO<sub>2</sub> ou SiO<sub>x</sub> et l'indium peut donc être envisagée, favorable car nécessaire pour « trous » la silice et avoir des NFs en relation d'épitaxie avec le Si. le problème est que cet oxyde d'indium ne semble pas être éliminé comme l'est par exemple l'oxyde de gallium Ga<sub>2</sub>O dans le cas du système SiO<sub>2</sub>/Ga.

Les mêmes études ont été menées sur les surfaces de substrats structurés au LTM avec une SiO<sub>2</sub> thermique (30 nm) sans traitement BOE 1% et avec traitement BOE 1%.

\* faible effet sur la composante Si2p du traitement BOE

\* forte composante In-O avec les deux surfaces, décalée de 2.5 eV de la composante In-In. Ce shift est important pour un oxyde type In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>... A expliquer...

Une conclusion de cette étude est que l'interaction de l'In avec SiO<sub>2</sub> ou SiO<sub>x</sub> est peut-être moins favorable pour la croissance auto-catalysée, que dans le cas Ga/SiO<sub>2</sub>, avec la présence d'un oxyde d'indium non volatil dans ou en surface des gouttes d'indium.

Un remède possible : masque dur en SiN<sub>x</sub>. Demande faite au LTM pour un masque SiN<sub>x</sub> + litho faite au LTM. Gravure SiN<sub>x</sub> à l'INL (P. Rojo). En cours...

## Tâche 5 : Modeling of the self-catalyzed nanowire growth

**F. Glas-LPN**

- développement des modèles existant (Glas 2007 et autres) ou en cours de finalisation sur la prédiction les propriétés structurales des NFs III-V auto-catalysés. Elaboration d'un diagramme de phase  $\alpha$  -  $\beta$  permettant de rendre compte des enchainements ZB/Wz/ZB observés dans les nanofils de GaAs auto-catalysés. Les propriétés structurales des NFs InP auto-catalysés (alternance ZB/Wz) peuvent elles s'expliquer par ces modèles ?

## Tâche 5 : Polarization in InAs/InP Wz nanowires

**N. Chauvin-INL**

- comparaison de la polarisation dans les QDsInAs / NFInP du LPN et des QRodsInAs / NFInP de l'INL. DLP très dispersée sur les QDs en fonction de l'énergie d'émission. L'étude de la DLP en fonction de  $d/\lambda$  montre une polarisation perpendiculaire sur les QDs InAs et parallèle sur les QRods InAs. L'effet de la forme elle-même du matériau émetteur peut donc avoir son influence sur la polarisation.

- sur la polarisation dans les NFs GaAs ZB à puits radiaux GaInAs : on peut s'attendre à un effet du caractère photonique du nanofil et donc à une polarisation parallèle pour les nanofils de 100 nm de diamètre. Des NFs GaAs à puits GaInAs radiaux auto-catalysés (ZB) du LPN seront envoyés à l'INL pour l'étude de la polarisation.

## Tâche 5 : Piezoelectricity in InAs/InP nanowires

## **N. Chauvin –INL (JM. Jancu-FOTON)**

- la polarisation spontanée et les coefficients piezoélectriques sont très faibles dans InAs et InP Wz. On ne s'attend donc pas à avoir d'effets de champ piezoélectrique dans les nanofils InAs/InP Wz.

## **Discussion et conclusions sur les livrables à T0+36**

### **- timing final pour la réalisation du démonstrateur et de sa caractérisation**

CEA : le gds du masque pourrait être finalisé fin novembre si toutes les infos complémentaires LPN/INL arrivent d'ici le 15 octobre. Les plaques pourraient être réalisées pour fin janvier-début février 2015.

- échanges de mail CEA/LPN/INL pour finaliser le masque final d'ici le 15 octobre.

- le patterning « voie oxyde PECVD » est à privilégier.

- le nombre de trous (NFs) par guide reste à préciser parmi 5, 10, 20 et 40. Ou bien on prévoit plusieurs designs pour cet aspect.

- prévoir aussi des guides sans trous pour tester le « patterning direct de SiO<sub>2</sub> » au LPN.

- le diamètre des trous reste à préciser ; 30, 50, 70 nm ou autres ?

- décisions à prendre pour le LPN pour l'étape de gravure finale et donc de la plaque à faire par le CEA pour le LPN.

- une plaque avec trous sera réalisée pour l'INL.

### **- futur d'INSCOOP ?**

- un peu tôt pour le prévoir. A prévoir pour les ANR 2015-2016. Attendre démonstration du concept inscoop.

- quelques pistes :

\*pompage électrique,

\*voie MOCVD ? : au LPN ? opportunité avec F. Oehler ?, à voir.., au LTM/Renatech, à priori non car pour la nanoélectronique ; mais intérêt possible ; voir avec T. Baron.

\*même concept avec BQ/nanofil unique sur un CP2D (type projet jeune chercheur de N. Chauvin),

\* autres...

... or contrainte de l'interdiction de l'or ? genre PV et couplage possible avec les concepts nanophotoniques développés pour les cellules PV (C. Seassal et E. Drouard)

... au contraire profitant du savoir-faire acquis sur la croissance ordonnée de NFs autocatalysés...