

Proposition de thèse

Titre: Laser à polaritons injectés électriquement à base de nanofils de GaN

Dans l'objectif de la réduction de la consommation électrique de composants opto-électroniques, il est proposé une thèse financée par le Labex GaNex sur l'effet laser à polaritons injectés électriquement dans des nanofils à base de GaN; les seuils d'émission attendus sont plus faibles que dans le cas de lasers classiques. Les polaritons sont des pseudo-particules qui résultent d'un couplage fort entre les photons et les excitons qui sont des paires électron-trou en interaction coulombienne [1]. Ce travail de recherche revêt un caractère fondamental mais aussi appliqué puisque l'objectif final est de réaliser une injection électrique dans un nanofil ou dans un ensemble de nanofils en réseaux. Le volet fondamental de la thèse consistera à identifier les processus de gain optique mettant en jeu les excitons ou les polaritons via le couplage exciton-mode optique. D'un point de vue technologique le challenge résidera dans la prise de contact aux extrémités d'un nanofil pour une injection électrique. Ce programme s'inscrit dans une collaboration entre deux laboratoires: le Centre de Recherche sur l'HétéroEpitaxie et ses Applications (CRHEA-CNRS, 06560 Valbonne Sophia-Antipolis) et l'Institut Pascal (IP-UMR CNRS, 63170 Aubière, Université Clermont Auvergne).

A ce jour, l'élaboration de nanofils est maîtrisée du point de vue de la croissance et du dopage de la structure cœur-coquille [2,3]. Des améliorations des structures sont à envisager pour optimiser la jonction p-n mais à ce stade, des investigations technologiques et spectroscopiques peuvent déjà être mises en route. Le programme de travail comportera deux aspects qui pourront évoluer en parallèle:

- Spectroscopie de nanofils par excitation optique et par injection électrique (Institut Pascal).

Il s'agit d'étudier finement les processus de gain mettant en jeu les excitons ou les polaritons via le couplage exciton-mode photonique. Ce point nécessite l'étude des modes optiques dans chaque structure de nanofil. Ces processus seront analysés en fonction de la température et pour diverses intensités d'excitation optique afin de cerner précisément l'apparition du plasma électron/trou et du processus de gain associé. Les densités de puissance au seuil laser seront mesurées pour chaque type de processus identifié: gain excitonique, polaritonique ou via des mécanismes de recombinaison de paires électron/trou.

Un travail similaire sera mené lors de l'injection électrique qui sera effectué dans un premier temps en régime pulsé à basse température. L'effet laser à polaritons sous injection continue sera l'objectif ultime de ce travail de thèse.

- Sélection d'un nanofil et prise de contacts aux extrémités en vue d'une injection électrique (CRHEA). L'approche la plus facile est de travailler avec des nanofils verticaux avec une prise des contacts n et p réalisée du même côté. Les étapes de process (lithographie optique/électronique, masquage, dépôts des contacts métalliques) seront réalisées en salle blanche. Les procédés technologiques pourront également conduire à des structures permettant l'étude du comportement d'ensemble de nanofils en réseaux.

Le candidat recherché pour cette thèse aura le goût pour les expériences de spectroscopie optique (micro-photoluminescence, imagerie en espace réel et de Fourier) ainsi que pour le travail en salle blanche. Il maîtrisera les notions fondamentales de physique des semi-conducteurs afin d'interpréter et de simuler les observations expérimentales. La thèse débutera en premier lieu à l'Institut Pascal puis se poursuivra ensuite entre les deux laboratoires.

[1] D. Bajoni, J. Phys. D: Appl. Phys. **45** (2012) 409501.

[2] A. Trichet et al., New Journal of Physics **14** (2012) 073004.

[3] P.M. Coulon et al., Applied Physics Express **9** (2016) 015502.

Date limite de candidature: 30 juin 2018.

Contacts: CRHEA (Blandine.Alloing@crhea.cnrs.fr, 0493954206; Jesus.Zuniga.Perez@crhea.cnrs.fr, 0493954309); Institut Pascal (joel.leymarie@uca.fr, 0473407026)

PhD Thesis: Nanowire-based electrically-injected GaN polariton laser

In the context of reducing the power consumption of opto-electronic components, we propose a PhD thesis funded by the GaNeX Labex on the electrically injected polariton laser effect in GaN-based nanowires; indeed the expected emission thresholds are lower than in the case of conventional lasers. Polaritons are quasi-particles that result from the strong coupling between photons and excitons (excitons are electron-hole pairs in Coulomb interaction) [1]. This research work is fundamental but also applied, since the ultimate goal is to perform electrical injection into a single nanowire or a nanowire network. From a fundamental point of view, the thesis will address the determination of the optical gain nature, which could involve excitons, and/or polaritons, and/or an e-h plasma. From a technological point of view, the challenge will consist in fabricating nanocontacts at the ends of a nanowire for the electrical injection. This program is part of an ongoing collaboration between two laboratories: the Research Center on HeteroEpitaxy and its Applications (CRHEA-CNRS, 06560 Valbonne Sophia-Antipolis) and the Pascal Institute (IP-UMR CNRS, 63170 Aubière, Clermont Auvergne University).

To date, the growth of the nanowires is controlled as well as the doping of the core-shell structure [2, 3]. Improvements of the structure are to be considered to optimize the p-n junction but at this stage, technological and spectroscopic investigations can already be started.

The work program will have two aspects that can evolve in parallel:

- Spectroscopy of nanowires by optical excitation and electric injection (at Pascal Institute).

It is a question of finely studying the gain processes involving excitons or polaritons. This point requires the study and simulation of optical modes in each nanowire structure. These processes will be analyzed as a function of temperature and for various intensities of optical excitation in order to precisely define the appearance of the electron / hole plasma and discriminate among the associated gain processes. The power densities at the laser threshold will be measured for each type of process identified: excitonic, polaritonic gain or via electron / hole pair recombination mechanisms.

A similar work will be carried out during the electrical injection, initially in pulsed regime at low temperature. Continuous injection polariton laser effect will be the ultimate goal of this thesis work.

- Selecting a nanowire and making contacts at the ends for electrical injection (at CRHEA).

The easiest approach is to work with vertical nanowires with n and p contacts on the same side. The process steps (optical / electronic lithography, masking, deposits of metal contacts) will be carried out in a clean room. Technological processes may also lead to structures for studying the overall behavior of nanowires in networks.

The candidate sought for this thesis will have a taste for optical spectroscopy experiments (micro-photoluminescence, real-space and Fourier imaging) as well as for clean room work. The student will show strong knowledge in semiconductor physics to interpret and simulate experimental observations. The PhD candidate will share time between spectroscopy experiments, at Pascal Institute, and fabrication processes, at CRHEA.

[1] D. Bajoni, J. Phys. D: Appl. Phys. **45** (2012) 409501.

[2] A. Trichet et al., New Journal of Physics **14** (2012) 073004.

[3] P.M. Coulon et al., Applied Physics Express **9** (2016) 015502.

Deadline for application: June 30, 2018.

Contacts:

CRHEA (Blandine.Alloing@crhea.cnrs.fr, +33 (0)4 93 95 42 06; Jesus.Zuniga.Perez@crhea.cnrs.fr, +33 (0)4 93 95 43 09); Institut Pascal (joel.leymarie@uca.fr, +33 (0)4 73 40 70 26)