

**Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies**

**Soutenance de Thèse**

**Date : Le 13 Janvier 2017 à 10:45h**

**Lieu : C2N, Rue Ampère, Bat. 220, 91405 Orsay - Salle Pierre Grivet (44)**

**Weiwei Zhang - Photonique**

**Intégration hybride sur silicium de matériaux dopés erbium ou riches en nanotubes de carbone semiconducteurs pour l’émission et l’amplification de la lumière sur puce**

**Membres du jury :**

Rapporteur : Pr. Raphaël Clerc, Institut d'Optique Graduate School

Rapporteur : Pr. Blas Garrido, Université de Barcelona

Examinateur : Dr. Loïc Bodiou, Université de Rennes 1

Examinateur : Dr.. Rafael Salas-Montiel, Université de technologie de Troyes

Examinateur : Pr.. Stéphane Parola, ENS Lyon

Examinatrice : Dr. Beatrice Dagens, Université Paris-Sud

Directeur de thèse :  Pr. Eric Cassan, Université Paris-Sud

**Résumé :**

Ce travail de thèse est une contribution à la thématique de l’intégration de matériaux actifs en photonique silicium pour la réalisation de fonctions intégrées. L’accent a été mis sur des matériaux préparés en couches minces pouvant être déposés sur substrats silicium pour la réalisation de sources de lumière ou d’amplificateurs dans la fenêtre télécom (~1.55µm). L’approche suivie a privilégié l’utilisation de guides à cœur creux (‘slot waveguides’) en raison du recouvrement qu’ils permettent entre les modes optiques guidés et les matériaux de couverture utilisés :

- Des guides slot Si/SiO2 et SiN/SiO2 et des résonateurs en anneaux basés sur ces guides ont conduit à des pertes de propagation typiquement de l’ordre de 1dB/cm et des résonateurs à facteur de qualité de quelques dizaines de milliers pour des structures couvertes par des matériaux d’indice ~1,5.

- Des travaux menés visant à l’intégration de matériaux actifs dopés à l’Erbium ont été conduits dans le cadre deux collaborations internationales (Chine et Finlande). La première collaboration nous a amené à la démonstration de gain optique à partir d’une géométrie de guide en arête inversée. Un gain interne de l’ordre de 25dB a été obtenu par cette approche pour une puissance de pompe optique de l’ordre de 80mW. Une seconde collaboration s’est focalisée, quant à elle, sur l’intégration d’oxyde Al2O3 dans des guides à fentes SiN fabriqués au C2N. Les problématiques d’intégration des matériaux ont été étudiées dans un premier temps. Le résultat le plus marquant a été l’observation d’un gain relatif de 25dB/cm dans des guides slot courts pour des puissances de pompe de l’ordre de 50mW à longueur d'onde 1480nm.

- Nous avons exploré une seconde voie destinée à la démonstration de structures émittrices/amplificatrices sur puce, exploitant l’utilisation de nanotubes de carbone semiconducteurs (NCS). Notre équipe du C2N, en collaboration avec le CEA-Saclay, a développé une méthode de préparation de couches minces riches en NCS pouvant être utilisées comme milieu actif dans le cadre d’une intégration planaire. Par cette approche, nous avons démontré qu’un pompage vertical des structures photoniques pouvait donner lieu à une extraction de photoluminescence (PL) en sortie guidée par la tranche, dans des guides à fentes, et qu’un renforcement significatif de la PL (>100) était obtenu par effet de recyclage des photons dans des résonateurs diélectriques à base de guides à fente, associé à un rétrécissement spectral des résonances observées en fonction de la puissance de pompe.

L’ensemble des travaux présentés dans cette thèse apporte une contribution au développement d’une photonique hybride sur silicium exploitant les propriétés de la plateforme de guidage optique sur SOI et celles de matériaux actifs (ici : polymères dopés à l’Erbium ou aux nanotubes de carbone).

****

**Mots clés** : Silicium, intégration hybride, nanotubes de carbone, erbium, l’amplification de la lumière, sources

Vous êtes cordialement invités au pot qui suivra cette soutenance.





UMR9001 CNRS-UPSUD

site d’Orsay : u-psud Bât 220 Rue André Ampère 91405 Orsay cedex

site de Marcoussis : route de Nozay 91460 Marcoussis

**English Version**

**Hybrid integration of Er-doped materials and CNTs on silicon
for light amplification and emission**

**Abstract:**

This thesis work brings a contribution to the topic of integration of active materials in silicon photonics for the realization of on chip light amplification and emission. The emphasis has been placed on materials prepared in thin layers that can be deposited on silicon substrates to produce light sources or amplifiers in the datacom&telecom wavelength windows (~1.3μm&1.55μm). The approach adopted favored the use of slot waveguides because of the enhanced overlap between the guided optical modes and the covering cladding materials:

- Si/SiO2 and SiN/SiO2 slot waveguides and ring resonators based on these waveguides have led to propagation losses typically of the order of 1-4dB/cm and resonators quality factor of several tens of thousands for photonic structures covered by cladding active materials of refractive index ~1,5.

- Work carried out on the integration of active materials doped with Erbium was performed in the framework of two international collaborations (China and Finland). The first collaboration led to the demonstration of optical gain from an inverted rib waveguide geometry. An internal gain of the order of 25 dB was obtained by this approach for an optical pump power of 80 mW. A second collaboration focused on the integration of Al2O3 oxide in SiN slot waveguides fabricated within C2N. The questions related to integration of materials were studied initially. The main obtained result was the observation of a max net gain of 25 dB/cm in short slot waveguides for pump powers of the order of 50 mW at wavelength 1480 nm.

- We explored a second way for demonstrating emitter / amplifier structures on a chip, exploiting the use of semiconductor carbon nanotubes (SCNTs). Our C2N team, in collaboration with CEA-Saclay, has developed a method for the preparation of thin layers rich in SCNTs that can be used as an active medium in a planar integration. Using this approach, we demonstrated that vertical pumping of SCNTs hybrid photonic structures could result in very strong on chip coupled photoluminescence (PL) (105/s), and that a significant increase of SCNTs emission in cavities (> 100) was obtained by the Purcell effect in air mode nanobeam cavities, associated with a spectral narrowing of the observed resonances as a function of the pump power.

The work presented in this thesis contributes to the development of hybrid photonics on silicon exploiting SOI platform waveguiding properties and those of active materials (here, polymers doped with Erbium or carbon nanotubes).

**Keywords:** Erbium doped materials, carbon nanotubes, silicon photonics, light amplification, light emission

**You are cordially invited to the drink party after this defense at the C2N Orsay cafeteria.**





UMR9001 CNRS-UPSUD

site d’Orsay : u-psud Bât 220 Rue André Ampère 91405 Orsay cedex

site de Marcoussis : route de Nozay 91460 Marcoussis