



Postdoc « Développement et analyse de structures electro-optiques à base d'alliages GeSn pour l'émission laser IR sur silicium »

Financement projet Européen RIA (Research & Innovation Action), 1 an renouvelable

Contexte : L'un des principaux défis de la photonique est de parvenir à une technologie laser entièrement compatible avec la filière silicium des procédés de fabrication industrielle. Fondamentalement, le silicium et le germanium, qui sont les principaux éléments du groupe IV, sont pénalisés pour l'émission de lumière en raison de la nature indirecte de leur structure de bande électronique. Il a été montré que l'alliage du germanium avec l'étain (GeSn) permet d'obtenir un alignement direct de la structure de bande et de premières démonstrations expérimentales d'effet laser avec ces matériaux ont été réalisées en 2015. Il est également possible de combiner la contrainte de traction avec l'alliage pour permettre encore plus de degré de liberté pour des émetteurs plus efficaces, avec l'obtention d'un effet laser en régime continu (cw) [1]. Ces alliages sont exploités afin d'obtenir un effet laser toujours plus robuste en vue d'être intégré dans un environnement applicatif, pour la détection d'éléments chimiques dans l'infrarouge. Au C2N, en collaboration avec le CEA, nous avons par exemple montré pour la première fois un effet laser jusqu'à température ambiante sous pompage optique [2].

Enjeux du postdoc : Un des enjeux est de réaliser des dispositifs laser plus compact fonctionnant sous injection électrique. Ceci demande des développements de design spécifiques des dispositifs ainsi qu'une connaissance des propriétés de transports et une modélisation fine du gain optique. Il sera nécessaire de décrire les phénomènes de diffusion des charges, par les potentiels d'alliages par exemple, et d'absorption intersousbande de valence. Il est par ailleurs envisagé d'utiliser des hétérostructures quantiques, en vue d'améliorer les propriétés de gain et le rendement des lasers. Afin de concevoir les structures optimales il est nécessaire de modéliser leur structure de bande électronique et le gain optique. Ceci demande une bonne connaissance des paramètres tels que les discontinuités de bande aux interfaces entre GeSn et différents matériaux barrières (comme SiGeSn), et tels que les potentiels de déformation.

Au cours de son projet, le (la) candidate sera impliqué(e) dans le design, la fabrication dans la salle blanche du C2N et l'analyse électro-optique de couches photoniques à base de GeSnOI (GeSn-on-Insulator) récemment développées dans le groupe [3] afin d'extraire expérimentalement des paramètres matériaux. Il (elle) interagira avec les chercheurs de l'équipe qui calculent les structures électroniques des matériaux en DFT (Density-Functional Theory) combinées avec la modélisation **k.p** multibandes. Il sera apprécié qu'il (elle) s'implique également dans la modélisation électromagnétique de cavités résonantes pour les lasers ainsi que dans leurs caractérisations.

Mots clefs : sources laser, GeSnOI, photonique silicium

References

[1] Elbaz, A., Buca, D., von den Driesch, N. *et al.* *Ultra-low-threshold continuous-wave and pulsed lasing in tensile-strained GeSn alloys.* *Nat. Photonics* **14**, 375–382 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41566-020-0601-5>

[2] A. Bjelajac, M. Gromovyi, E. Sakat, B. Wang, G. Patriarche, N. Pauc, V. Calvo, P. Boucaud, F. Boeuf, A. Chelnokov, V. Reboud, M. Frauenrath, J.-M. Hartmann, and M. El Kurdi, *Up to 300 K lasing with GeSn-On-Insulator microdisk resonators*, *Opt. Express* **30**, 3954-3961 (2022)

[3] B. Wang, E. Sakat, E. Herth, M. Gromovyi, A. Bjelajac, J. Chaste, G. Patriarche, P. Boucaud, F. Boeuf, N. N. Pauc, V. Calvo, J. Chrétien, M. Frauenrath, A. Chelnokov, V. Reboud, J.-M. Hartmann, M. El Kurdi, *GeSnOI mid-infrared laser technology.* *Light Sci Appl.* **10**, 232 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00675-7>

Contact: moustafa.el-kurdi@c2n.upsaclay.fr



Postdoc « Development and analysis of electro-optical structure based on GeSn alloys for IR laser devices »

Funding European project RIA (Research & Innovation Action), 1 year renewable

Background: One of the main challenges in photonics is to achieve a laser technology that is fully compatible with the silicon part of industrial manufacturing processes. Basically, silicon and germanium, which are the main group IV elements, are penalized for light emission due to the indirect nature of their electronic band structure. Alloying germanium with tin (GeSn) has been shown to achieve direct band structure alignment and first experimental demonstrations of lasing with these materials were carried out in 2015. It is also possible to combine the tensile stress with the alloy to allow even more degrees of freedom for more efficient emitters, with continuous-wave (cw) lasing achieved [1]. These alloys are being exploited to obtain an increasingly robust lasing effect for integration into an application environment for the detection of chemical elements in the infrared. At C2N, in collaboration with the CEA, we have, for example, demonstrated for the first time a lasing effect at room temperature under optical pumping [2].

Challenges of the postdoc: One of the challenges is to realize more compact laser devices operating under electrical injection. This requires specific design developments of the devices as well as knowledge of the transport properties and fine modelling of the optical gain. It will be necessary to describe the phenomena of charge scattering, by alloy potentials for example, and intersubband valence absorption. The use of quantum heterostructures is also envisaged to improve the gain properties and the efficiency of the lasers. In order to design the optimal structure it is necessary to model their electronic band structure and optical gain. This requires a good knowledge of parameters such as band discontinuities at the interfaces between GeSn and different barrier materials (such as SiGeSn), and such as strain potentials.

During the project, the candidate will be involved in the design, fabrication in the C2N clean room and electro-optical analysis of GeSnOI (GeSn-on-Insulator) based photonic layers recently developed in the group [3] in order to experimentally extract material parameters. He (she) will interact with the researchers of the team who calculate the electronic structure of materials using DFT (Density-Functional Theory) methods combined with multibands **k.p.** modelling. It will be appreciated if he/she is also involved in the electromagnetic modelling of resonant cavities for lasers and in their experimental analysis.

Key words: laser sources, GeSnOI, silicon photonique

References

[1] Elbaz, A., Buca, D., von den Driesch, N. *et al.* *Ultra-low-threshold continuous-wave and pulsed lasing in tensile-strained GeSn alloys.* **Nat. Photonics** **14**, 375–382 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41566-020-0601-5>

[2] A. Bjelajac, M. Gromovyi, E. Sakat, B. Wang, G. Patriarche, N. Pauc, V. Calvo, P. Boucaud, F. Boeuf, A. Chelnokov, V. Reboud, M. Frauenrath, J.-M. Hartmann, and M. El Kurdi, *Up to 300 K lasing with GeSn-On-Insulator microdisk resonators*, **Opt. Express** **30**, 3954-3961 (2022)

[3] B. Wang, E. Sakat, E. Herth, M. Gromovyi, A. Bjelajac, J. Chaste, G. Patriarche, P. Boucaud, F. Boeuf, N. N. Pauc, V. Calvo, J. Chrétien, M. Frauenrath, A. Chelnokov, V. Reboud, J.-M. Hartmann, M. El Kurdi, *GeSnOI mid-infrared laser technology.* **Light Sci Appl.** **10**, 232 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00675-7>

Contact: moustafa.el-kurdi@c2n.upsaclay.fr