

PhD fellowship

GaN-based polaritonics for neuromorphic computing

A PhD position is open in the group of Jesus Zuniga-Perez and B. Alloing (CRHEA, Université Côte d'Azur-CNRS), as part of the European Union EIC-pathfinder project PolArt. The PhD student will be in charge of fabricating GaN-based polaritonic waveguides and lasers, operating at room-temperature in the strong-coupling regime, and of characterizing their optical response. Subsequently, he/she will exploit polariton propagation and polariton nonlinearities to realize a neuromorphic polaritonic accelerator for sound, images and genome-wide patterns recognition.

About the project.

The project PolArt: "Neuromorphic polariton accelerator" will exploit exciton-polaritons to realize artificial neural networks implemented into hardware, rather than software. Exciton-polaritons are hybrid quasiparticles made of light (photons) and matter (excitons) excitations and inherit properties of both of them: they can propagate close to photon velocities while displaying much larger nonlinearities. The demonstration of exciton-polaritons at room-temperature has paved the way for practical applications. The EIC-funded PolArt project intends to use exciton-polaritons to realize artificial neural networks implemented into a hardware platform [1,2]. Exciton-polaritons promise for faster processing speeds and lower energy consumptions, contributing to more energy-efficient devices enabling recognition of images, sounds and genome-wide patterns of biomarkers.

The consortium gathers seven partners, including CNRS (MAJULAB, Singapore, and CRHEA, France), University of Warsaw, Institute of Physics and UNIPRESS (Poland), and Institute of Nanotechnology (CNR Lecce), Ospedale San Raffaele (Milan) and Bright Solutions (Milan) in Italy.

Role of the PhD.

The PhD will work on the nanofabrication and optical characterization of GaN polaritonic waveguides and lasers. The candidate will first design the photonic structures, thanks to numerical methods and in collaboration with the PolArt theory partners, and will fabricate them in CRHEA's clean-room (<https://www.crhea.cnrs.fr/en/technology-platform.htm>). Subsequently he/she will characterize them both in CRHEA and during research stays to be carried out at our collaborator laboratories. Indeed, while the PhD fellow will be based in CRHEA (Sophia Antipolis, France), he/she will need to spend some time contributing to experimental measurements in University of Warsaw (Poland) and CNR Lecce (Italy), as well as in Montpellier and Clermont Ferrand (France).

The PhD degree will be awarded by the Université Côte d'Azur, in France, and will be supervised by B. Alloing and J. Zuniga-Perez.

About the hosting group.

The team of Jesus Zuniga Perez (CNRS) and B. Alloing (CNRS) has been working on the field of polaritonics for more than 15 years [3], developing large quality factors microcavities, demonstrating polariton Bose-Einstein condensation at room-temperature [4] and the first polariton lasers based on fast-propagating waveguide polaritons [5]. Central to the PolArt project will be the recent development of GaN-based polaritonic waveguides and engineered edge-emitting GaN polariton lasers [6,7], which will be the starting point for the PhD.

Working environment.

CRHEA (Centre de Recherche sur l'Hétéro-Epitaxie et ses Applications, Université Côte d'Azur-CNRS): The laboratory is leader on the field of III-nitride semiconductor material epitaxy and has been leading the Labex "GaNeX/t" dedicated to GaN. CRHEA has developed a unique expertise on GaN LEDs fabrication, the integration of GaN lasers on sapphire and silicon, as well as the fabrication of optical microcavities and nanophotonic resonators based on GaN and associated materials. The team has the expertise and the tools necessary for the structural and optical characterization of the sources as well as the necessary clean-room technology for fabricating photonic structures. More advanced optical characterizations will be performed in collaboration with our national (Institut Pascal [3,4,5] and Université de Montpellier [3,4,6,7]) or international (MAJULAB, University of Warsaw [2] and CNR Lecce [1,2]) partners.

In CRHEA the PhD will interact strongly with, besides its two supervisors and a postdoctoral fellow also devoted to the PolArt project, the clean-room team (M. Al-Khalifioui, V. Brändli, S. Chenot, and M. Gromovii) as well as with the GaN-growth team (P. M. Coulon, and E. Frayssinet).

Qualifications:

- Physics or Engineering Bachelor studies. A master devoted to nanofabrication and/or optics will be a plus, though not necessary.
- Hands-on experience in a clean-room environment will be a strong plus.
- Knowledge of numerical simulations (e.g. FDTD methods) will be useful.
- Excellent analytical, organizational, and communication skills.
- Capacity to develop and nurture crossed-disciplinary networks, in particular at international level.
- Creativity and ability to think out of the box.

What We Offer:

- Opportunity to work on strategic and international projects and to play an instrumental role in the structuration of the burgeoning field of neuromorphic computing.
- Opportunity to supervise interns.
- Various collaborations in France, Europe and Singapore within highly stimulating environments.
- Excellent networking opportunities with leading experts from academia and industry.
- Excellent working conditions with competitive salary and benefits (around 2135Eurs/month gross salary, depending on the background of the candidate).

How to Apply.

Interested candidates should submit their application by sending an email to Blandine.alloing@crhea.cnrs.fr and jesus.zuniga.perez@crhea.cnrs.fr, including a detailed CV, a cover letter explaining their interest and previous background, two reference letters, and a list of publications.

Application Deadline

Until position is being filled.

References

1. D. Ballarini, A. Gianfrante, R. Panico, A. Opala, S. Ghosh, L. Domenici, V. Ardizzone, M. de Giorgi, G. Lerario, G. Gigli, T. C. H. Liew, M. Matuszewski, and D. Sanvitto, "Polaritonic Neuromorphic Computing Outperforms Linear Classifiers", *Nano Letters* **20**, 3506 (2020).
2. R. Mirek, A. Opala, P. Comaron, M. Furman, M. Krol, K. Tyszka, B. Serebinski, D. Ballarini, D. Sanvitto, T. C. H. Liew, W. Pacuski, J. Suffczynski, J. Szczytko, M. Matuszewski, B. Pietka, "Neuromorphic Binarized Polariton Networks", *Nano Letters* **21**, 3715 (2021)
3. F. Médard, J. Zuniga-Pérez, P. Disseix, M. Mihailovic, J. Leymarie, A. Vasson, F. Semond, E. Frayssinet, J. C. Moreno, M. Leroux, S. Faure and T. Guillet, "Experimental observation of strong light-matter coupling in ZnO microcavities: Influence of large excitonic absorption", *Physical Review B* **79**, 125302 (2009)
4. Feng Li, L. Orosz, O. Kamoun, S. Bouchoule, C. Brimont, P. Disseix, T. Guillet, X. Lafosse, M. Leroux, J. Leymarie, M. Mexis, M. Mihailovic, G. Patriarche, F. Réveret, D. Solnyshkov, J. Zúñiga-Pérez and G. Malpuech, "From excitonic to photonic polariton condensate in a ZnO-based microcavity", *Physical Review Letters* **110**, 196406 (2013)
5. O. Jamadi, F. Réveret, P. Disseix, F. Médard, J. Leymarie, A. Moreau, D. Solnyshkov, C. Deparis, M. Leroux, E. Cambriil, S. Bouchoule, J. Zúñiga-Pérez, and G. Malpuech, "Edge-emitting polariton laser and amplifier based on a ZnO waveguide", *Light: Science & Applications* **7**, 82 (2018)
6. H. Souissi, M. Gromovyi, T. Gueye, C. Brimont, L. Doyennette, D. D. Solnyshkov, G. Malpuech, E. Cambriil, S. Bouchoule, B. Alloing, S. Rennesson, F. Semond, J. Zúñiga-Pérez, and T. Guillet, "Ridge polariton laser: different from a semiconductor edge-emitting laser", *Physical Review Applied* **18**, 044029 (2022)
7. H. Souissi, M. Gromovyi, I. Septembre, V. Develay, C. Brimont, L. Doyennette, E. Cambriil; S. Bouchoule, B. Alloing, E. Frayssinet, J. Zúñiga-Pérez, T. Ackemann, G. Malpuech, D. D. Solnyshkov, and T. Guillet, "Mode-locked GaN waveguide polariton laser", arXiv 2310.18661 (2024)

Contrat de thèse

Polaritons dans GaN : vers le calcul neuromorphique polaritonique

Un poste de doctorant est ouvert dans l'équipe de Jésus Zúñiga-Pérez et B. Alloing (CRHEA, Université Côte d'Azur-CNRS), dans le cadre du projet EIC-pathfinder PolArt, financé par l'Union européenne. Le doctorant sera en charge de la nanofabrication des guides d'ondes et des lasers polaritoniques à base de GaN, qui fonctionneront à température ambiante dans le régime du couplage fort, et de caractériser leur réponse optique. Par la suite, le doctorant exploitera la propagation et les non-linéarités des polaritons pour réaliser un accélérateur polaritonique neuromorphique pour la reconnaissance de sons, d'images et de biomarqueurs.

À propos des projets.

Le **projet PolArt : "Neuromorphic polariton accelerator"** exploitera les polaritons excitoniques pour réaliser des réseaux neuronaux artificiels implémentés dans du « hardware » plutôt que dans des logiciels. Les polaritons excitoniques sont des quasiparticules hybrides constituées de lumière (photons) et d'excitations de matière (excitons), et héritent les propriétés des deux : ils peuvent se propager à des vitesses proches de celles des photons tout en affichant des non-linéarités beaucoup plus importantes. La démonstration de polaritons excitoniques robustes à température ambiante, en partie par l'équipe de Jesus Zuniga-Perez, a ouvert la voie à des applications pratiques pour les polaritons. Les polaritons excitoniques promettent des vitesses de traitement des données plus rapides et une consommation énergétique moindre, contribuant à des dispositifs plus économes en énergie permettant la reconnaissance d'images, de sons et de biomarqueurs.

Le consortium réunit sept partenaires, dont le CNRS (MAJULAB, à Singapour, et CRHEA, en France), l'Université de Varsovie et UNIPRESS (Pologne) et le CNR Lecce (Italie), avec lesquels le doctorant travaillera.

Rôle du doctorant.

Le doctorant travaillera sur la nanofabrication et la caractérisation optique des guides d'ondes et des lasers polaritoniques en GaN. Le candidat concevra d'abord les structures photoniques grâce à des méthodes numériques, et en collaboration avec les théoriciens du projet PolArt, puis les fabriquera dans la salle blanche du CRHEA (<https://www.crhea.cnrs.fr/en/technology-platform.htm>). Par la suite, il/elle les caractérisera à la fois au CRHEA et lors de séjours de recherche à réaliser chez nos collaborateurs. En effet, bien que le doctorant sera basé au CRHEA (Sophia Antipolis, France), il/elle devra contribuer aux mesures expérimentales à l'Université de Varsovie (Pologne) et au CNR Lecce (Italie), ainsi qu'à Montpellier et Clermont-Ferrand (France).

Le doctorat sera délivré par l'Université Côte d'Azur, en France, et sera supervisé par B. Alloing et J. Zúñiga-Pérez.

À propos de l'équipe d'accueil.

L'équipe du Professeur Jesus Zuniga Perez et Blandine Alloing (CNRS) travaille dans le domaine de la polaritonique depuis plus de 15 ans [3] ; durant ce temps elle a développé des microcavités avec des facteurs qualité élevés, a démontré la condensation de Bose-Einstein de polaritons à température ambiante [4] ainsi que les premiers lasers à polaritons dans des guides d'ondes [5]. Au cœur du projet PolArt se trouve le récent développement de guides d'ondes polaritoniques à base de GaN et des lasers polaritoniques associés, à émission par la tranche [6,7], qui constitueront le point de départ du doctorant.

Environnement de travail.

Le CRHEA (Centre de Recherche sur l'Hétéro-Epitaxie et ses Applications, Université Côte d'Azur-CNRS) : Le laboratoire est leader dans le domaine de l'épitaxie de matériaux semi-conducteurs de type nitrures (AlGaInN) et a dirigé les Labex nationaux "GaNeX/t", dédiés à la technologie et recherche sur le GaN. Ainsi, le CRHEA a développé une expertise unique dans la fabrication de LEDs GaN, l'intégration de lasers GaN sur saphir et silicium, ainsi que la fabrication de microcavités optiques et de résonateurs nanophotoniques à base de GaN et des matériaux associés. L'équipe possède l'expertise et les outils nécessaires pour la caractérisation structurale et optique des sources ainsi que la technologie de salle blanche nécessaire à la fabrication de structures photoniques. Des caractérisations optiques plus avancées seront réalisées en collaboration avec nos partenaires nationaux (Institut Pascal [3,4,5] et Université de Montpellier [3,4,6,7]) et internationaux (MAJULAB, Université de Varsovie [2] et CNR Lecce [1,2]).

Au CRHEA, le doctorant interagira de façon régulière avec ses deux encadrants et un postdoctorant travaillant aussi sur le projet européen, ainsi qu'avec l'équipe en salle blanche (M. Al-Khalifioui, V. Brändli, S. Chenot et M. Gromovii) et l'équipe de croissance GaN (P. M. Coulon et E. Frayssinet).

Qualifications.

- Des études de licence en physique ou en ingénierie. Un master consacré à la nanofabrication et/ou à l'optique sera un plus, bien que non nécessaire.
- Une expérience pratique en salle blanche sera un atout majeur.
- Des connaissances en simulations numériques (par exemple, les méthodes FDTD) seront utiles.
- Excellentes compétences analytiques, organisationnelles et de communication.
- Capacité à développer et à entretenir des réseaux interdisciplinaires, en particulier au niveau international.
- Créativité et capacité à penser de manière novatrice.

Ce que nous offrons.

- Possibilité de travailler sur des projets stratégiques et internationaux, et de jouer un rôle déterminant dans la structuration du domaine émergent de calcul neuromorphique.
- Possibilité d'encadrer des stagiaires.
- Diverses collaborations en France, en Europe et à Singapour au sein d'environnements très stimulants.
- Excellentes opportunités pour établir un réseau international avec des experts de premier plan du milieu universitaire et de l'industrie.
- Excellentes conditions de travail avec un salaire et des avantages compétitifs (environ 2135 euros/mois de salaire brut).

Comment postuler.

Les candidats intéressés doivent soumettre leur candidature en envoyant un e-mail à jesus.zuniga.perez@crhea.cnrs.fr et à blandine.alloing@crhea.cnrs.fr, comprenant un CV détaillé et une lettre de motivation expliquant leur intérêt et leur expérience antérieure.

Date limite de candidature.

Jusqu'à ce que le poste soit pourvu.

Références

1. D. Ballarini, A. Gianfrante, R. Panico, A. Opala, S. Ghosh, L. Domenici, V. Ardizzone, M. de Giorgi, G. Lerario, G. Gigli, T. C. H. Liew, M. Matuszewski, and D. Sanvitto, "Polaritonic Neuromorphic Computing Outperforms Linear Classifiers", *Nano Letters* **20**, 3506 (2020).
2. R. Mirek, A. Opala, P. Comaron, M. Furman, M. Krol, K. Tyszka, B. Serebinski, D. Ballarini, D. Sanvitto, T. C. H. Liew, W. Pacuski, J. Suffczynski, J. Szczytko, M. Matuszewski, B. Pietka, "Neuromorphic Binarized Polariton Networks", *Nano Letters* **21**, 3715 (2021)
3. F. Médard, J. Zúñiga-Pérez, P. Disseix, M. Mihailovic, J. Leymarie, A. Vasson, F. Semond, E. Frayssinet, J. C. Moreno, M. Leroux, S. Faure and T. Guillet, "Experimental observation of strong light-matter coupling in ZnO microcavities: Influence of large excitonic absorption", *Physical Review B* **79**, 125302 (2009)
4. Feng Li, L. Orosz, O. Kamoun, S. Bouchoule, C. Brimont, P. Disseix, T. Guillet, X. Lafosse, M. Leroux, J. Leymarie, M. Mexis, M. Mihailovic, G. Patriarche, F. Réveret, D. Solnyshkov, J. Zúñiga-Pérez and G. Malpuech, "From excitonic to photonic polariton condensate in a ZnO-based microcavity", *Physical Review Letters* **110**, 196406 (2013)
5. O. Jamadi, F. Réveret, P. Disseix, F. Médard, J. Leymarie, A. Moreau, D. Solnyshkov, C. Deparis, M. Leroux, E. Cambriil, S. Bouchoule, J. Zúñiga-Pérez, and G. Malpuech, "Edge-emitting polariton laser and amplifier based on a ZnO waveguide", *Light: Science & Applications* **7**, 82 (2018)
6. H. Souissi, M. Gromovyi, T. Gueye, C. Brimont, L. Doyennette, D. D. Solnyshkov, G. Malpuech, E. Cambriil, S. Bouchoule, B. Alloing, S. Rennesson, F. Semond, J. Zúñiga-Pérez, and T. Guillet, "Ridge polariton laser: different from a semiconductor edge-emitting laser", *Physical Review Applied* **18**, 044029 (2022)
7. H. Souissi, M. Gromovyi, I. Septembre, V. Develay, C. Brimont, L. Doyennette, E. Cambriil; S. Bouchoule, B. Alloing, E. Frayssinet, J. Zúñiga-Pérez, T. Ackemann, G. Malpuech, D. D. Solnyshkov, and T. Guillet, "Mode-locked GaN waveguide polariton laser", arXiv 2310.18661 (2024)