

Postdoctoral position

Quantum and nonlinear nanophotonics

A post-doctoral position is open in the group of Prof. Jesus Zuniga-Perez as part of the projects CIPHER-Q, funded by the French National Research Foundation (ANR), and project PolArt, funded by the European Union (EIC Pathfinder). The research fellow will be in charge of the nanofabrication of photonic resonators, using CRHEA's clean-room facilities, and of their characterization. These microcavities will be coupled either to single-photon emitters or to excitonic resonances of an active medium to generate exciton-polaritons. The research fellow will contribute to their optical characterization in collaboration with two PhD students and the other projects members. In this context, the fellow will need to interact with academic and industrial partners participating to these ambitious projects addressing the fields of quantum communications and neuromorphic computing.

About the projects.

The **project CIPHER-Q: “Practical Single-photon device for high-speed real-field quantum cryptography”** is a four-year project funded by the French National Research Foundation (ANR). The three main objectives of the project are:

1. Fabricate a GaN-based single-photon emitter operating at room-temperature, emitting photons on-demand at telecommunications wavelengths (1.3micrometers), and being electrically-injected.
2. Integrate the GaN-based single-photon emitters into photonic structures enabling an overall source brightness enhancement. Two different geometries will be studied: in-plane cavities coupled to optical waveguides for lateral photon extraction, and bullseye antennas for normal-to-surface extraction.
3. Demonstrate real-field QKD through optimized protocols adapted to the optical characteristics of our sources and reach state-of-the-art secret key rates for room-temperature sources.

The consortium gathers INPHYNI (Université Côte d'Azur-CNRS), who is the project coordinator, CRHEA (Université Côte d'Azur-CNRS), and MAJULAB (CNRS, Université Côte d'Azur, Sorbonne Université, NTU and NUS).

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 hardware rather than into software platforms. 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 and UNIPRESS (Poland) and CNR Lecce (Italy), with whom the postdoc will be working with.

Role of the postdoc.

The postdoc will work on the development of nanofabrication strategies, in a clean-room environment, for fabricating photonic structures in a GaN-based platform and on their

deterministic coupling to individual single-photon emitters or excitonic resonances. The candidate will first design the adapted photonic structures thanks to numerical methods, will fabricate them in CRHEA's clean-room (<https://www.crhea.cnrs.fr/en/technology-platform.htm>) and will subsequently characterize them. Special attention will be paid to separate the response of the photonic resonators and of the active regions. Successful realizations will be employed to nourish the fibre-based quantum communication channel established between Nice and Sophia Antipolis [1] as well as to realize proof-of-concept neuromorphic accelerators in collaboration with international partners in Poland and Italy [2, 3].

About the hosting group.

The teams of Prof. Jesus Zuniga Perez (CNRS) has been working on the field of polaritonics for more than 15 years [4], developing large quality factors microcavities, demonstrating polariton Bose-Einstein condensation at room-temperature [5] and the first polariton lasers based on fast-propagating waveguide polaritons [6,7,8]. Since 2020 he has been working, in collaboration with the team of Prof. W. Gao in Singapore, on the development of GaN-based telecom single-photon emitters [9].

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 (INPHYNI) or international (MAJULAB, University of Warsaw and CNR Lecce) partners.

IN CRHEA the postdoc will interact with the clean-room team (M. Al-Khalfioui, V. Brändli, S. Chenot, and M. Gromoviyi) as well as with the GaN-growth team (B. Alloing, P. M. Coulon, and E. Frayssinet).

Qualifications:

- PhD in condensed-matter physics, quantum optics or materials science. A PhD devoted to nanofabrication and/or quantum/nonlinear optics will be a plus, though not necessary.
- Strong skills in nanofabrication 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.
- Proven track record of published research and presentations in relevant fields for the current position.
- 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 quantum communications and neuromorphic computing.
- Opportunity to supervise PhD students and 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 3000 Eurs/month gross salary, depending on the background of the candidate).

How to Apply.

Interested candidates should submit their application by sending an email to 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. Y. Pelet, G. Sauder, M. Cohen, L. Labonté, O. Alibert, A. Martin, and S. Tanzilli, "Operational entanglement-based quantum key distribution over 50km of field-deployed optical fibers", *Physical Review Applied* **20**, 044006 (2023)
2. 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).
3. 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)
4. 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)
5. 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)
6. O. Jamadi, F. Réveret, P. Disseix, F. Médard, J. Leymarie, A. Moreau, D. Solnyshkov, C. Deparis, M. Leroux, E. Cambril, 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)
7. H. Souissi, M. Gromovyi, T. Gueye, C. Brimont, L. Doyennette, D. D. Solnyshkov, G. Malpuech, E. Cambril, 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)
8. H. Souissi, M. Gromovyi, I. Septembre, V. Develay, C. Brimont, L. Doyennette, E. Cambril; 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)
9. M. Meunier, J. J. H. Eng, Z. Mu, S. Chenot, V. Brändli, P. de Mierry, W. Gao, and J. Zúñiga-Pérez, "Telecom single-photon emitters in GaN operating at room temperature: embedment into bullseye antennas", *Nanophotonics* **12**, 1405 (2023).

Contrat de postdoctorat

Nanophotonique quantique et non linéaire

Un contrat post-doctoral est ouvert dans le groupe du Professeur Jésus Zúñiga-Pérez dans le cadre des projets CIPHER-Q, financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), et du projet PolArt, financé par l'Union Européenne (EIC Pathfinder). Le chercheur sera en charge de la nanofabrication de résonateurs optiques dans la salle blanche du CRHEA et de leur caractérisation. Ces microcavités seront couplées soit à des émetteurs de photons uniques, soit à des résonances excitoniques pour générer des excitons-polaritons. Le chercheur contribuera à leur caractérisation optique en collaboration avec deux doctorants et les autres membres des projets. Dans ce contexte, le chercheur devra interagir avec des partenaires académiques et industriels participant à ces projets ambitieux qui abordent les domaines de la communication quantique et du calcul neuromorphique.

À propos des projets.

Le projet **CIPHER-Q : “Practical Single-photon device for high-speed real-field quantum cryptography”** est un projet de quatre ans financé par l'Agence Nationale française de la Recherche (ANR). Les trois objectifs principaux du projet sont :

1. Fabriquer un émetteur de photons uniques à base de GaN fonctionnant à température ambiante, émettant des photons à la demande à des longueurs d'onde télécomm (1,3 micromètres) et étant injecté électriquement.
2. Intégrer les émetteurs de photons uniques à base de GaN dans des structures photoniques permettant une augmentation globale de la brillance de la source. Deux géométries différentes seront étudiées : des cavités horizontales couplées à des guides d'ondes optiques pour une extraction latérale des photons, et des antennes de type « bullseye » pour une extraction perpendiculaire à la surface.
3. Démontrer la QKD en champ réel grâce à des protocoles optimisés adaptés aux caractéristiques optiques de nos sources, et atteindre l'état de l'art pour le taux de clé secrète pour les sources fonctionnant à température ambiante.

Le consortium réunit l'INPHYNI (Université Côte d'Azur-CNRS), qui est le coordinateur du projet, le CRHEA (Université Côte d'Azur-CNRS) et le MAJULAB (CNRS, Université Côte d'Azur, Sorbonne Université, NTU et NUS).

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 excitons-polaritons 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 post-doc travaillera.

Rôle du post-doc.

Le post-doc travaillera sur la nanofabrication de structures photoniques à base de GaN, dans un environnement de salle blanche, et sur leur couplage déterministique avec des émetteurs individuels de photons uniques ou des résonances excitoniques. Le candidat concevra d'abord les structures photoniques adaptées grâce à des méthodes numériques, les fabriquera dans la salle blanche du CRHEA (<https://www.crhea.cnrs.fr/en/technology-platform.htm>) et les caractérisera. Une attention particulière sera portée à séparer la réponse des résonateurs photoniques et des régions actives. Les réalisations réussies seront utilisées pour alimenter le canal de communication quantique à base de fibres établi entre Nice et Sophia Antipolis [1] ainsi que pour réaliser des preuves de concept d'accélérateurs neuromorphiques en collaboration avec des partenaires internationaux en Pologne et en Italie [2, 3].

À propos de l'équipe d'accueil.

L'équipe du Professeur Jesus Zuniga Perez (CNRS) travaille dans le domaine de la polaritonique depuis plus de 15 ans [4] ; 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 [5] ainsi que les premiers lasers à polaritons dans des guide d'ondes [6,7,8]. Depuis 2020 il travaille, en collaboration avec l'équipe du Professeur W. Gao à Singapour, sur le développement d'émetteurs de photons uniques à base de GaN pour les télécommunications quantiques [9].

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 nitrides (AlGaInN) et a dirigé les Labex nationaux "GaNX/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 (INPHYNI) ou internationaux (MAJULAB, Université de Varsovie et CNR Lecce).

Au CRHEA, le post-doc interagira avec l'équipe en salle blanche (M. Al-Khalfioui, V. Brändli, S. Chenot et M. Gromovyii) ainsi qu'avec l'équipe de croissance GaN (B. Alloing, P. M. Coulon et E. Frayssinet).

Qualifications.

- Doctorat en physique de la matière condensée, en optique quantique ou en science de matériaux. Un doctorat consacré à la nanofabrication et/ou à l'optique quantique/non linéaire sera un plus, mais pas nécessaire.
- Compétences solides en nanofabrication dans un environnement de salle blanche seront un atout majeur.
- Connaissance des simulations numériques (par exemple, les méthodes FDTD) sera utile.
- Excellentes compétences analytiques, organisationnelles et de communication.
- Capacité à développer et à entretenir des réseaux interdisciplinaires, en particulier au niveau international.
- Un bilan de recherche publiée et des présentations orales dans des domaines pertinents pour le poste actuel.
- Créativité et capacité à penser en dehors du cadre.

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 des communications quantiques et du calcul neuromorphique.
- Possibilité d'encadrer des doctorants et 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 3000 euros/mois de salaire brut, selon le parcours du candidat).

Comment postuler.

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

Date limite de candidature.

Jusqu'à ce que le poste soit pourvu.

Références

1. Y. Pelet, G. Sauder, M. Cohen, L. Labonté, O. Alibert, A. Martin, and S. Tanzilli, "Operational entanglement-based quantum key distribution over 50km of field-deployed optical fibers", *Physical Review Applied* **20**, 044006 (2023)
2. 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).
3. 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)
4. 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)
5. 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)
6. O. Jamadi, F. Réveret, P. Disseix, F. Médard, J. Leymarie, A. Moreau, D. Solnyshkov, C. Deparis, M. Leroux, E. Cambril, 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)
7. H. Souissi, M. Gromovyi, T. Gueye, C. Brimont, L. Doyennette, D. D. Solnyshkov, G. Malpuech, E. Cambril, 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)
8. H. Souissi, M. Gromovyi, I. Septembre, V. Develay, C. Brimont, L. Doyennette, E. Cambril; 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)
9. M. Meunier, J. J. H. Eng, Z. Mu, S. Chenot, V. Brändli, P. de Mierry, W. Gao, and J. Zúñiga-Pérez, "Telecom single-photon emitters in GaN operating at room temperature: embedment into bullseye antennas", *Nanophotonics* **12**, 1405 (2023).