



**CENTRALE
LYON**

Avis de Soutenance

Monsieur Trong Tam NGUYEN

Electronique, Micro et Nanoélectronique, optique et laser

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Ingénierie nanophotonique des métasurfaces en pérovskite pour les dispositifs émetteurs de lumières

Travaux dirigés par Monsieur Christian SEASSAL

Soutenance prévue le **vendredi 27 mars 2026** à 10h00

Lieu : bâtiment W1, 36 Avenue Guy de Collongue, 69134 Écully

Salle : Amphi. 201

Composition du jury proposé

M. Christian SEASSAL	Directeur de recherche	Ecole Centrale de Lyon, INSA Lyon, Universit'e Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, CNRS, INL, UMR5270, Ecully 69130, France	Directeur de thèse
M. Hai Son NGUYEN	Maître de conférences	Ecole Centrale de Lyon, INSA Lyon, Universite Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, CNRS, INL, UMR5270, Ecully 69130, France, CNRS International NTU THALES Research Alliance (CINTRA IRL 3288), Singapore	Co-encadrant de thèse
M. Joël BELLESSA	Professeur des universités	Institut Lumière Matière, UMR5260 CNRS-UCBL, University Lyon 1, 69100 Villeurbanne, France	Examinateur
M. Dries VAN THOURHOUT	Professeur des universités	Ghent University - IMEC Department of Information Technology	Examinateur
Mme Zhuoying CHEN	Chargée de recherche HDR	Laboratoire de Physique et d'Etude des Matériaux: Paris, Île-de-France, FR - CNRS researcher, CNRS UMR 8213/ESPCI Paris - PSL/Sorbonne Université	Rapporteuse
M. Aloyse DEGIRON	Directeur de recherche	Université Paris Cité, CNRS, Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques, 75013 Paris, France	Rapporteur

Mots-clés : pérovskites, métasurface, ingénierie nanophotonique, nano-impression thermique, PeLEDs, absorption à deux photons

Résumé :

Les pérovskites à halogénures métalliques (MHP) ont révolutionné l'optoélectronique grâce à leur structure ABX_3 ajustable, permettant l'ingénierie de la bande interdite dans le visible/NIR par le mélange d'halogénures et la réduction de la dimensionnalité (3D $\rightarrow$ nanocristaux quasi-2D/2D). Elles offrent des bandes interdites directes, un PLQY $> 90\%$ (films), $> 99\%$ (nanocristaux), une pureté de couleur exceptionnelle, une tolérance aux défauts et une mobilité des porteurs suffisante pour des émetteurs polycristallins traités en solution efficaces. Depuis la première démonstration de PeLED à température ambiante en 2014, les rendements rouge/vert rivalisent désormais avec ceux des OLED commerciales, et les PeLED bleues progressent rapidement. Dans cette technologie, l'extraction de la lumière reste le goulot d'étranglement critique : environ 80 % des photons générés sont piégés par la réflexion interne totale et les modes de guide d'onde dans les architectures planes. De plus, malgré les fortes non-linéarités des MHP, en particulier la grande susceptibilité du troisième ordre pour l'absorption à deux photons, elles restent sous-exploitées pour les lasers à conversion ascendante et la détection sous la bande interdite en raison de leur faible efficacité non linéaire. Les métasurfaces en pérovskite apportent la solution en utilisant la physique des plaques à cristaux photoniques. Ces structures périodiques de longueur d'onde inférieure créent des résonances guidées qui extraient la lumière piégée dans l'espace libre à des angles contrôlés, ce qui peut également renforcer simultanément les réponses optiques non linéaires en dessous de la bande interdite. Malgré des démonstrations impressionnantes d'amélioration de la photoluminescence, les PeLED à métasurface pérovskite à pompage électrique (Pe-metaLED) ont été très peu explorées, se limitant à des preuves de concept à pompage optique. Cette thèse comble cette lacune en appliquant la lithographie par nano-impression thermique (NiL), une technique évolutive et rentable qui permet simultanément de structurer et de recristalliser des films MHP à base de bromure sous haute pression/température, ce qui donne une morphologie supérieure, des grains plus gros et une cristallinité améliorée. Nous cibons le décalage spectral vert en utilisant des pérovskites quasi-2D ($PEA_2MA_{n-1}Pb_nBr_{3n+1}$) pour établir le flux de processus Pe-metaLED et du $CsPbBr_3$ entièrement inorganique pour une stabilité thermique/chimique supérieure dans les dispositifs finaux. Structure de la thèse Chapitre 1 : Revue complète de la nanophotonique MHP, axée sur les métasurfaces MHP, et portée de la thèse Chapitre 2 : Optimisation de la recristallisation sous haute pression pour les pérovskites quasi-2D et entièrement inorganiques ; transitions de phase réversibles du $CsPbBr_3$ pour les applications à changement de phase Chapitre 3 : Fabrication NiL de métasurfaces carrées/rectangulaires en pérovskite ; la μ PL résolue en angle révèle des résonances photoniques au-delà de l'émission primitive. Compatibilité thermique de NiL au-delà du film mince MHP à base de solution. Chapitre 4 : Nouvelle métasurface à double résonance permettant une amélioration de PL non linéaire de $1600\times$ grâce à l'extraction simultanée de la lumière et à l'augmentation de l'absorption à deux photons. Chapitre 5 : Intégration complète Pe-metaLED pour les LED à pérovskites quasi-2D organiques-inorganiques, suivie d'un flux de processus PeLED s'adaptant à la pérovskite entièrement inorganique. En fin de compte, notre objectif est de faire le pont entre la science des matériaux et la nanophotonique afin de permettre la prochaine génération d'optoélectronique à pérovskite conçue par la photonique.



**CENTRALE
LYON**

Summary:

Metal halide perovskites (MHPs) have revolutionized optoelectronics with their tunable ABX_3 structure, enabling bandgap engineering across visible/NIR through halide mixing and dimensionality reduction (3D $\rightarrow$ quasi-2D/2D nanocrystals). They deliver direct band gaps, PLQY >90% (films), >99% (nanocrystals), exceptional color purity, defect tolerance, and sufficient carrier mobilities for efficient solution-processed polycrystalline emitters. Since the first room-temperature PeLED demonstration in 2014, red/green efficiencies now rival commercial OLEDs, with blue PeLEDs rapidly advancing. In this technology, light extraction remains the critical bottleneck: ~80% of generated photons are trapped by total internal reflection and waveguide modes in planar architectures. Additionally, despite MHPs' strong nonlinearities—particularly large third-order susceptibility for two-photon absorption, they remain underexploited for upconversion lasers and sub-bandgap detection due to their low nonlinear efficiency. Perovskite metasurfaces provide the solution utilizing photonic crystal slab physics. These subwavelength-periodic structures create guided resonances that extract trapped light into free space at controlled angles, which can also simultaneously boost nonlinear optical responses below the bandgap. Despite impressive photoluminescence enhancement demonstrations, electrically pumped perovskite metasurface PeLEDs (Pe-metaLEDs) are scarcely explored, limited to optical-pumped proofs-of-concept. This thesis addresses this gap by applying thermal nanoimprint lithography (NiL)—a scalable, cost-effective technique that simultaneously patterns and recrystallizes bromide-based MHP films under high pressure/temperature, yielding superior morphology, larger grains, and enhanced crystallinity. We target the green spectral gap using quasi-2D $(PEA_2MA_{n-1}Pb_nBr_{3n+1})$ perovskites to establish the Pe-metaLED process flow and all-inorganic $CsPbBr_3$ for superior thermal/chemical stability in final devices. Thesis structure Chapter 1: Comprehensive review of MHP nanophotonics, focusing on MHP metasurfaces, and the thesis scope Chapter 2: High-pressure recrystallization optimization for both quasi-2D and all-inorganic perovskites; reversible $CsPbBr_3$ phase transitions for phase-change applications Chapter 3: NiL fabrication of perovskite square/rectangular metasurfaces; angle-resolved μ PL reveals photonic resonances beyond pristine emission. The thermal NiL compatibility beyond solution-based MHP thin film. Chapter 4: Novel dual-resonance metasurface achieving $1600\times$ nonlinear PL enhancement via simultaneous light extraction and two-photon absorption boost. Chapter 5: Full Pe-metaLED integration for organic-inorganic quasi-2D perovskite LED, followed by PeLED process flow adapting with all-inorganic perovskite. Ultimately, we aim to bridge materials science and nanophotonics to enable the next generation of photonically-engineered perovskite optoelectronics.