

croissance sélective de nano diodes électroluminescentes rouge-vert-bleu à l'aide d'un masque de graphène à motif spécifique**SELECTIVE AREA GROWTH OF RED-GREEN-BLUE NANO-LIGHT EMITTING DIODES USING A DEDICATED PATTERNED GRAPHENE MASK***Etablissement* **Université Grenoble Alpes***École doctorale* **EEATS - Electronique, Electrotechnique, Automatique, Traitement du Signal***Spécialité* **Nano électronique et Nano technologies***Unité de recherche* **Laboratoire des Technologies de la Microélectronique***Encadrement de la thèse* **Marc ZELSMANN***Co-Directeur* **Amélie DUSSAIGNE****Financement** du 01-10-2025 au 30-09-2028 *Employeur* **UGA***Début de la thèse le* **1 octobre 2025***Date limite de candidature (à 23h59)* **6 juillet 2025****Mots clés - Keywords**

photonique, epitaxie, lithographie, graphene, photoluminescence, LED

photonics, epitaxy, lithography, graphene, photoluminescence, LED

Description de la problématique de recherche - Project description

Les micro-écrans couleurs avec un pas pixel inférieur à 10 μm sont nécessaires pour les applications de réalité virtuelle et augmentée. Pour l'approche à émission native, des sous-pixels Rouge-Vert-Bleu (RGB) pourraient être obtenus en utilisant des micro-LEDs à base d'InGaN intégrées de façon monolithique. Cependant, obtenir une émission rouge efficace avec l'alliage InGaN est un gros challenge. Nous avons récemment publié la croissance de puits quantiques InGaN/InGaN RGB de haute qualité optique épitaxiés sur des nanopyrâmides InGaN de diamètre inférieur à 1 μm par épitaxie en phase vapeur aux organo-métalliques [<https://doi.org/10.1038/s43246-024-00725-8>]. Nous avons épitaxié ces nanopyrâmides par croissance nano-sélective en utilisant une couche de graphène/SiC épitaxiée et patternée in situ comme masque de croissance et en tirant parti de l'exceptionnelle mobilité des adatoms sur la surface du graphène pendant la croissance. Les propriétés des émissions RGB obtenues à différents endroits sur l'échantillon sont dépendantes des dimensions et de la densité des nanopyrâmides InGaN. Des analyses corrélatives avancées menées sur la même nanopyrâmide ont révélé un cœur InGaN de concentration en In de 13% totalement ou au moins presque relaxée et des puits quantiques très réguliers émettant dans le rouge (620 nm) le long des flancs de la nanopyrâmide avec une concentration en In record de 40%.

C'est une approche très encourageante pour la réalisation de micro-LEDs RGB intégrées de façon monolithique pour les applications micro-écrans. Néanmoins, actuellement, le masque in situ a un pattern auto-assemblé. Pour être capable de contrôler la position de chaque nanopyrâmide, un pattern organisé est nécessaire. De plus, le mécanisme précis de la formation des ouvertures initiales formées dans le graphène par traitement thermique n'est pas encore élucidé. Le but de la thèse sera, premièrement d'être capable de créer une couche de graphène patternée dédiée qui est compatible avec les mécanismes de croissance et avec le contrôle des dimensions et densité des ouvertures pour sélectionner localement la longueur d'onde d'émission sur le même échantillon, et deuxièmement, d'épitaxier des structures LEDs RGB sur des nanopyrâmides organisées en une seule croissance.

Full color micro-displays with a pixel pitch of below 10 μm are needed for augmented and virtual reality applications. In the native emission approach, high efficiency Red-Green-Blue (RGB) subpixels could be achieved using monolithically integrated InGaN based micro-LEDs. However, realizing efficient red emission with the InGaN alloy is a big challenge. We reported recently the growth of high optical quality RGB InGaN/InGaN quantum wells grown on InGaN nanopyrâmids of diameter less than 1 μm by metal organic vapor phase epitaxy [<https://doi.org/10.1038/s43246-024-00725-8>]. We grew the nanopyrâmids by nanoselective area growth using an in situ patterned epitaxial graphene layer on SiC as an embedded mask and by taking advantage of the exceptional mobility of adatoms onto the graphene layer during growth. The RGB emission properties at different locations on the sample are dependent on the size and density of the InGaN nanopyrâmids. Advanced correlative analysis conducted on the same single nanopyrâmide reveal a fully or at least nearly relaxed InGaN core with an In content of 13% and very regular quantum wells emitting in the red range (620 nm) along the pyramid sidewalls with a record In content up to 40%.

This is a very promising approach for monolithically integrated RGB micro-LEDs for micro-display applications. Nevertheless, today, the in situ nanomask has a self-assembled pattern. To be able to control the position of each nanopyrâmide, an organized pattern is necessary. In addition, the precise mechanism of the formation of the initial holes made in the graphene layer by thermal treatment is not yet elucidated.

The goal of this thesis is firstly to be able to create a dedicated patterned graphene layer that is compatible with the growth mechanism and with controlled hole size and densities to select locally the light emission wavelength on the same sample, and, secondly, to grow efficient RGB LED structures on organized nanopylramids in a single growth run.

Thématique / Domaine / Contexte

Croissance de matériaux semi-conducteur pour la photonique

Optique / photonique / croissance cristalline

Collaboration entre le LTM (labo académique de l'UGA et du CNRS hébergé au CEA-LETI) et le CEA-LETI/DPFT/SMTP (service de matériaux et technologies pour la photonique du CEA-LETI) sur la croissance de matériaux semi-conducteur III-V pour l'affichage.

Objectifs

Le doctorant réalisera des expériences de croissance et de lithographie en salle blanche, analysera les échantillons par différentes techniques de caractérisation, interprétera les résultats, présentera ses travaux en réunions et conférences, et rédigera sa thèse de doctorat.

Méthode

- Préparer et conduire les expériences de croissance et lithographie en salle blanche
- Caractériser les matériaux obtenus par des techniques structurales et optiques
- Analyser les données et optimiser les conditions de croissance
- Participer aux réunions de l'équipe et aux discussions scientifiques
- Assurer une veille bibliographique
- Rédiger des publications scientifiques
- Participer à des conférences nationales/internationales
- Rédiger la thèse de doctorat

Résultats attendus - Expected results

Soutenance d'une thèse de doctorat validée par un jury scientifique et production de publications scientifiques.

Références bibliographiques

- [1] A. Dussaigne et al., Communications Materials, (2024) 5:280. <https://doi.org/10.1038/s43246-024-00725-8>
- [2] C. Paillet Thesis «LEDs rouges à base d'hétérostructure graphène InGaN », 2022. <https://theses.hal.science/tel-03823966v1>

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

Dans chacune des structures d'accueil le doctorant travaillera avec une équipe / un laboratoire de quelques chercheurs et doctorants / post-doctorants et sera supervisé par un chercheur. Il sera amené à travailler avec d'autres laboratoires sur le site du CEA et en France. Rapports d'avancement annuels, évaluation par le comité de suivi de thèse, soutenance finale devant un jury

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Travail sur les plateformes de technologies du CEA-LETI et du LTM pour la croissance, la lithographie et la caractérisation. Travail en salle blanche nécessitant le respect strict des protocoles de sécurité et de propreté. Travail en environnement contrôlé, port de combinaison intégrale. Horaires parfois contraints par la disponibilité des équipements. Déplacements ponctuels pour conférences ou collaborations. Projet financé par le Labex 'Microélectronique' de l'UGA (financement validé).

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Production de publications scientifiques, brevets. Propriétés intellectuelle gérée par des conventions existante entre les entités/tutelles.

Collaborations envisagées

Collaboration avec le CREHA/CNRS à Sophia Antipolis

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Profil: Master 2 en physique, matériaux, nanosciences, ou équivalent. Une expérience en salle blanche est un plus.

Compétences:

- Connaissances solides en physique des matériaux semi-conducteurs
- Expérience en techniques de dépôt de couches minces (CVD, MBE, etc.) appréciée
- Maîtrise des outils de caractérisation : AFM, XRD, ellipsométrie, SEM, TEM, photoluminescence etc.
- Bonne capacité d'analyse de données expérimentales
- Compétences rédactionnelles et de présentation orale
- Autonomie et rigueur
- Curiosité scientifique et esprit critique
- Capacité à travailler en équipe
- Sens de l'organisation et gestion du temps

Profile: Master 2 in physics, materials, nanosciences, or equivalent. Cleanroom experience is a plus.

Skills:

- Solid knowledge of semiconductor materials physics
- Experience in thin-film deposition techniques (CVD, MBE, etc.) appreciated.
- Proficiency in characterization tools: AFM, XRD, ellipsometry, SEM, TEM, photoluminescence, etc.
- Good experimental data analysis skills
- Good writing and oral presentation skills
- Autonomy and rigor
- Scientific curiosity and critical thinking
- Ability to work as part of a team
- Organizational skills and time management

Dernière mise à jour le 16 mai 2025