

Contrat doctoral – ED Galilée

Titre du sujet :

Etude et réalisation de d’OLED superradiantes : vers le développement de sources organiques cohérentes et directionnelles

- Unité de recherche : LPL – UMR 7538
Equipe Photonique Organique et Nanostructures – Photonique et Nanostructures
Collaborations : Samira Khadir (CRHEA, Nice Sophia-Antipolis) et Béatrice Dagens (C2N)
- Discipline : Physique
- Direction de thèse : Azzedine BOUDRIOUA (Pr.), Alexis FISCHER (Pr.), Mahmoud CHAKAROUN (MCF HDR)
- Contact : boudrioua@univ-paris13.fr (Azzedine Boudrioua, Pr.)
- Domaine de recherche : Photonique
- Mots clés : OLED, superradiance, métasurfaces, sources de lumières

1. Objet

L’objectif de ce travail est de développer des méta-OLEDs (OLEDs associées à des méta-surfaces) afin de contrôler la directivité et la cohérence de leur émission. Les méta-surfaces nécessitent un éclairage cohérent alors que l’émission d’une OLED présente un profil lambertien à très faible cohérence. Aussi, il est proposé d’étudier d’abord des OLED superradiantes qui permettent de générer une lumière cohérente non lasante et ensuite d’associer ces sources à une métasurface afin de contrôler la directivité de son émission.

2. Descriptif

Les OLED ont plusieurs intérêts majeurs : faible coût des matériaux organiques, faible consommation électrique, émission pouvant couvrir tout le spectre visible, possibilité d'utiliser un substrat flexible, etc. Le contrôle de la directivité et la cohérence de l’émission de ces sources devrait, en particulier, permettre le développement de nouveaux systèmes d’éclairage performants (fixes, mobiles ou embarqués) et de réaliser des avancées vers la diode laser organique. Afin d’atteindre cet objectif, il est possible d’utiliser des métasurfaces associées à ces sources organiques et de développer des méta-OLEDs. Cependant, l’émission d’une OLED est de profil lambertien et n'est pas cohérente alors que les métasurfaces fonctionnent avec des sources cohérentes tels que les lasers. Jusqu’à présent, l'utilisation des métasurfaces avec une OLED (ou LED) nécessite d’associer celle-ci à une cavité pour augmenter la cohérence de son émission ce qui rend le dispositif complexe.

Dans le cadre de ce travail, il est proposé d’étudier et de développer une OLED superradiante afin d’obtenir une source de lumière cohérente compatibles avec les métasurfaces. Le phénomène de superradiance a été décrit pour la première fois par Dicke [1] et a été largement étudié théoriquement et expérimentalement [2, 3]. Pour obtenir une superradiance, l’une des approches consiste à incorporer des nanoparticules plasmoniques [4, 5] au sein d’une source de lumière en régime de couplage fort et de déclencher et entretenir les phénomènes de synchronisation [6].

Aussi, le premier objectif de ce travail est d'utiliser le régime de couplage fort entre des réseaux de nanoparticules (NPs) plasmoniques et les émetteurs organiques afin de contrôler les interactions entre les dipôles des émetteurs organiques et d'obtenir leur synchronisation, et la transition vers un état collectif spatialement cohérent *i.e.* un phénomène de superradiance.

Le second objectif consiste à associer ces OLEDs superradiantes à des métasurfaces afin d'obtenir une lumière cohérente et directionnelle. L'objectif est de contrôler totalement l'émission d'une OLED avec une métasurface intégrée directement dans le dispositif. Les méta-surfaces [7] sont des structures résonantes planaires qui peuvent contrôler les caractéristiques d'une onde optique : amplitude, polarisation, phase, fréquence, etc. Ainsi, un contrôle local de l'interaction lumière-matière permet de façonner la réponse totale des métasurfaces. On s'intéressera particulièrement aux métalentilles qui permettent de focaliser ou de collimater la lumière. En outre, les méta-surfaces diélectriques présentent un intérêt particulier car elles permettent des fonctionnalités uniques et elles présentent de faibles pertes ohmiques.

Obtenir des sources organiques cohérentes et directionnelles en utilisant le phénomène de superradiance et des métasurfaces est une approche originale qui devrait également permettre d'associer ces sources plus cohérentes à une cavité pour étudier l'effet laser sous pompage électrique.

3. Démarche

Ce travail s'inscrit dans la continuité des travaux de thèse actuellement en cours au sein de l'équipe PON et porte sur deux étapes essentielles :

Étape 1 : obtenir des OLEDs superradiantes. Ici l'idée est d'incorporer des nanoparticules plasmoniques (nanoantennes optiques) au sein de l'OLED, de façon à favoriser les phénomènes de synchronisation à l'origine de la superradiance. Pour cela, on étudiera et utilisera le régime de couplage fort. Cependant, la plupart de ces phénomènes ont été étudiés et démontrés sous pompage optique. L'un des problèmes qu'il sera nécessaire de résoudre est de transposer ces études au cas du pompage électrique (cas de l'électroluminescence des OLED). Cette partie du travail s'effectuera en collaboration avec Béatrice Dagens du C2N.

Étape 2 : concevoir et étudier des métasurfaces adaptées aux OLEDs superradiantes. L'objectif est de contrôler l'émission spontanée d'une OLED avec l'effet collectif d'une métasurface intégrée directement dans le dispositif. On s'intéressera particulièrement aux métalentilles comme concentrateurs de lumière intégrée dans l'hétérostructure OLED. En fait, il existe très peu de travaux sur l'utilisation des métasurfaces avec des sources de type LED et encore moins avec des OLEDs. Dans tous les cas, il est souvent nécessaire d'associer la source de lumière à une cavité pour rendre son émission cohérente avant de l'associer à une métasurface. Dans notre cas, l'utilisation d'une OLED superradiante permet de s'affranchir de cette difficulté. Cette partie du travail se fera en collaboration avec l'équipe Métasurfaces du CRHEA à Sophia Antipolis (Nice) qui possède une expertise reconnue mondialement dans le domaine.

Références

- [1]. R. H. Dicke, Phys. Rev. 93, 99 (1954).
- [2]. V. N. Pustovit *et al.*, Phys. Rev. Lett. 102, 077401 (2009).
- [3]. D. G. Lidzey *et al.*, Science 288, 1620 (2000).
- [4]. S. Hamdad, thèse de doctorat, Université Sorbonne Paris Nord, soutenue 25 mai 2020.
- [5]. A. T. Diallo, thèse, Université Sorbonne Paris Nord, soutenue 2018
- [6]. S. Aberra Guebrou *et al.*, Phys. Rev. Lett. 108, 066401 (2012).
- [7]. P. Genevet *et al.*, Optica 4(1); 139 (2017).