

EFFET PLASMONIQUE DE RESEAU DE NANOPARTICULES METALLIQUES POUR LA DIRECTIVITE DE L'EMISSION DES DISPOSITIFS ORGANIQUES ELECTROLUMINESCENTS

S. Hamdad, A.T. Diallo, M. Chakaroun et A. Boudrioua

Laboratoire de Physique des Lasers CNRS UMR 7538, Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, Villetaneuse, France

sarah.hamdad@univ-paris13.fr

Abstract: L'étude menée dans le cadre de ce travail concerne l'exaltation des propriétés, spectrale et angulaire, de l'émission de diodes électroluminescentes organiques via la génération de modes collectifs hybrides associés à des réseaux de nanoparticules plasmoniques.

MOTS-CLEFS: Plasmonique; Photonique; OLEDs; résonances Hybrides

1. INTRODUCTION

Dans cette étude on s'intéresse particulièrement à la réalisation, et la caractérisation optique et électrique de dispositifs organiques électroluminescents (OLED) contenant des nanostructures métalliques. Ce travail a pour objectif principal l'analyse des différents types de couplage qui peuvent être générés entre des modes plasmons de surface localisés, au niveau de chaque nanoparticule du réseau métallique, et les molécules organiques optiquement actives constituant l'hétéro-structure OLED. En particulier des nanoparticules ordonnées d'Ag, de divers périodes allant de 190nm à 400nm, ont été réalisés. Les nanostructures sont des nano-cylindres de 100nm de diamètre fabriquées sur un substrat de verre/ITO recouvert d'une couche de matériau organique (m-MTDATA).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Afin de réaliser les structures périodiques la technique de lithographie électronique a été utilisée; celle-ci permet la conception de nanostructures à très basse dimensionnalité à grande résolution. Après une série de métallisation et traitement chimique, les structures obtenues sont caractérisées optiquement par transmission, dans le but d'obtenir les spectres d'extinction associés. Aussi, une étude théorique de la réponse optique des structures plasmoniques est réalisée via la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD)[1]. De ces deux études, des réponses spectrales similaires entre caractérisations expérimentales et calculs numériques, sont obtenues.

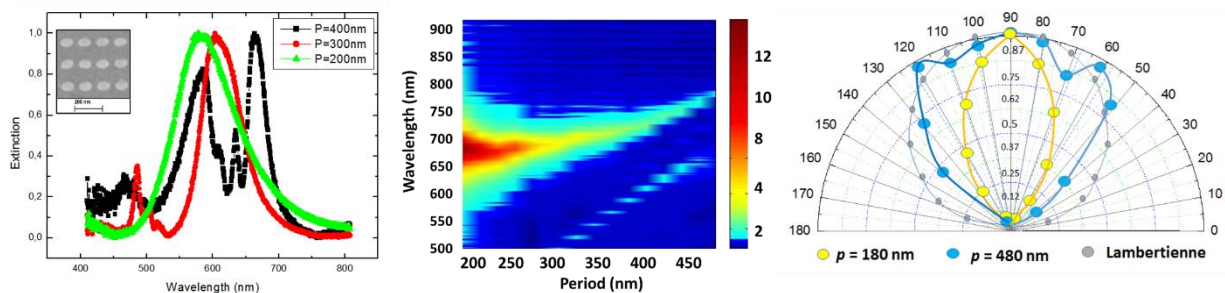


Fig. 1. a. Spectres d'extinction expérimentaux. b. Cartographie des résultats expérimentaux d'extinction en fonction de la période du réseau et de la longueur d'onde. c. Diagramme de rayonnement d'OLEDs conventionnel, plasmoniques courte et longue période.

En corrélation avec le pas du réseau, deux types de réponses peuvent être distinguées : un régime dit de couplage en champ proche, caractérisant les faibles périodicités; et un régime de couplage dit en

champ lointain[2], et ce lorsque la distance inter-particule devient supérieure à une valeur caractéristique du réseau considéré. Le régime de couplage en champ proche est obtenu pour des valeurs de périodicités $P < 240\text{nm}$ (figure.1.a et 1.b), un seul pic étendu spectralement est obtenu. L'amortissement associé étant important et la durée de vie du mode généré est courte ce qui révèle le caractère localisé du mode excité. Ainsi la résonance obtenue est attribuée à l'excitation de modes plasmons de surface [3] au niveau de chaque NP constituant le réseau. La réponse collective en régime de couplage champ proche est obtenue par la génération d'ondes évanescentes confinées au voisinage immédiat des NPs auxquelles sont associées des modes de grande densité d'énergie à caractère localisé dominant. Lorsque la périodicité atteint une valeur spécifique de $P > 240\text{nm}$, les effets de diffraction deviennent prépondérants et il se produit alors une modification de l'allure spectrale. Des pics très fins apparaissent qui se superposent au pic principal plasmonique. Ce dernier subissant un rétrécissement spectral ainsi qu'un shift vers les grandes longueurs d'onde. On note, également, que lorsque la distance inter-particule devient importante, les pics initialement de faible largeur à mi hauteur s'élargissent en se rapprochant de la longueur d'onde typique de la résonance plasmon de surface localisé. Ainsi, les résonances asymétriques obtenues sont dites hybrides[4]. Le caractère localisé et délocalisé de ce type de mode prend en compte d'un régime de découplage fort entre la réponse collective des NPs et les ondes électromagnétiques excitant la structure. Ce couplage est rendu possible grâce à un phénomène de diffraction qui devient dominant et apparaît à angles rasants dans le plan des NPs. Ces ordres diffractés résultent de diverses modifications d'ondes évanescentes en ondes propagatives et vice versa. Ce phénomène se produit à des longueurs d'onde typiques du réseau dites anomalies de Rayleigh[5].

Ainsi il est possible de manipuler et de contrôler la réponse collective soutenue par l'ensemble des NPs via le choix des paramètres du réseau.

Afin d'étudier l'influence des modes hybrides sur les processus d'émission d'objets optiquement actifs, des réseaux de NPs métalliques, en régime de couplage champ proche ainsi qu'en champ lointain, sont insérés dans les structures organiques constituant les dispositifs multicouches OLED. L'étude concerne en particulier la réponse électrique et optique de ces OLED contenant des réseaux de périodicités $P=180\text{nm}$ et $P=480\text{nm}$.

A partir de la figure 1.c, on remarque que dans le cas de l'OLED plasmonique de courte période, l'émission se fait dans la direction donnée par la normale, entièrement contenue dans un cône d'ouverture de 30° . Ainsi l'émission lambertienne classiquement obtenue pour les dispositifs OLED conventionnels est redirigée préférentiellement suivant la normale. Dans le cas des OLED contenant des réseaux en couplage champ lointain, le diagramme montre une émission exaltée suivant la normale ainsi que deux lobes dans les directions $\pm 30^\circ$. Ces effets sont obtenus grâce à l'excitation de modes hybrides. Ainsi l'intensité des faisceaux émis sont exaltés via l'effet plasmonique et l'énergie redistribuée dans des ordres de diffraction suivant des directions préférentielles. Les nanoantennes, constituant le réseau, supportent des modes de forte densité d'énergie et redirigent les faisceaux générés dans des directions privilégiées pour lesquelles des interférences constructives sont obtenues.

3. CONCLUSION

Cette étude met en exergue la possibilité d'exploiter les structures plasmoniques afin de rediriger, moduler et restructurer la réponse optique de dispositifs luminescents. Ainsi grâce à un choix judicieux des paramètres des structures insérées, il est possible de générer une réponse optique de manière sélective. Aussi, ce type de structure joue le rôle de nano-dispositifs servant de contrôleur en terme d'intensité, d'efficacité et de directionnalité pour les faisceaux générés aux seins de dispositifs luminescents. Cette étude ouvre ainsi la voie à des nouvelles applications dans le domaine des sources lumineuses afin de contrôler et de manipuler les propriétés spectrales et angulaires des processus d'émission.

4. REFERENCES

- [1] A. Belkhir et al., University of TiziOuzou (Algeria)
- [2] A. G. Nikitin, A. V. Kabashin, and H. Dallaporta, "Plasmonic resonances in diffractive arrays of gold nanoantennas: near and far field effects," *Optics Express*, 20 (25), 27952 (2012).
- [3] M. A. Garcia, "Surface plasmon in metallic nanoparticles: fundamentals and applications," *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 44, Number 28 (2011).

- [4] D. Khlopin, F. Laux, W. P. Wardley, J. Martin, G. A. Wurtz, J. Plain, N. Bonod, A. V. Zayats, W. Dickson and D. Gerard, "Lattice modes and plasmonic linewidth engineering in gold and aluminum nanoparticle arrays," *JOSA B*, 34 (3), 691 (2017).
- [5] A. Maradudin, I. Simonsen, J. Polanco and R. M. Fitzgerald, "Rayleigh and Wood anomalies in the diffraction of light from a perfectly conducting reflection grating," *Journal of Optics*, 18, 024004 (2016).