

Des nano-antennes pour accélérer l'émission lumineuse

Une antenne est un dispositif facilitant le couplage entre un oscillateur électrique local et les ondes propagatives du champ électromagnétique. Si les antennes sont couramment utilisées pour l'émission et la réception des ondes radio, leurs analogues dans le domaine visible n'ont pu être étudiés que depuis quelques années car leurs dimensions doivent être contrôlées à des échelles très inférieures à la longueur d'onde.

Cette question suscite un grand intérêt dans la perspective d'améliorer l'absorption (cellules solaires, détecteurs) ou l'émission de lumière (imagerie biologique, émission de photons uniques...). Le positionnement de l'émetteur lumineux par rapport à l'antenne est un aspect particulièrement délicat du couplage. L'équipe « Nanostructures et optique » de l'INSP a étudié la fluorescence de nanocristaux semi-conducteurs positionnés de manière déterministe au centre d'une nano-antenne « patch » constituée d'un disque métallique, et montré une accélération et une redirection de l'émission lumineuse.

Les antennes « patch » sont constituées d'une surface plane (carré, disque...) comme élément rayonnant, séparée d'un plan conducteur réflecteur par une couche diélectrique. Elles sont utilisées dans les téléphones mobiles pour leur simplicité de production industrielle et d'utilisation en réseau. Greffet et al.² ont montré en 2010 que, pour un émetteur couplé à un disque métallique, il était possible d'obtenir à la fois une forte localisation du champ électromagnétique au niveau de l'émetteur, donc un bon couplage entre l'émetteur et l'antenne, et une bonne directivité de l'émission. Le facteur de qualité des modes de résonance de l'antenne est de l'ordre de 10, ce qui permet un couplage sur une large bande.

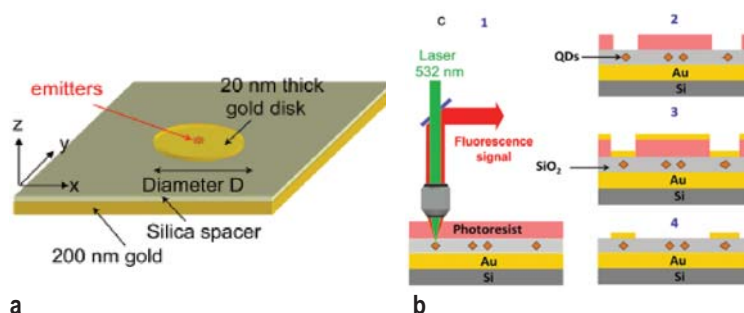


Figure 1

a) schéma de la géométrie de l'antenne

b) schéma de principe de la lithographie in situ adaptée par le LPN à la fabrication d'antennes patch.

1 En collaboration avec P. Senellart (Laboratoire Photonique et de Nanostructures), J.-J. Greffet, F. Marquier (Laboratoire Charles Fabry) et B. Dubertret (Laboratoire de Physique et d'Étude des Matériaux) dans le cadre du projet ANR Delight.

2 R. Esteban, T. V. Teperik et J.-J. Greffet, "Optical patch antennas for single photon emission using surface plasmon resonances", *Phys. Rev. Lett.* 104, 026802 (2010).

L'équipe a choisi une géométrie d'antenne où l'émetteur est situé entre une surface d'or et un disque d'or (fig. 1a), séparés par une couche diélectrique de 30 nm d'épaisseur. La technique de « lithographie *in situ* »³, développée par P. Senellart (Laboratoire Photonique et de Nanostructures), qui consiste à repérer spatialement les émetteurs avant de déposer les disques d'or (fig. 1b), a permis de positionner des émetteurs (agrégats très brillants de nanocristaux de CdSe/CdS) au centre de l'antenne avec une précision latérale de 25 nm.

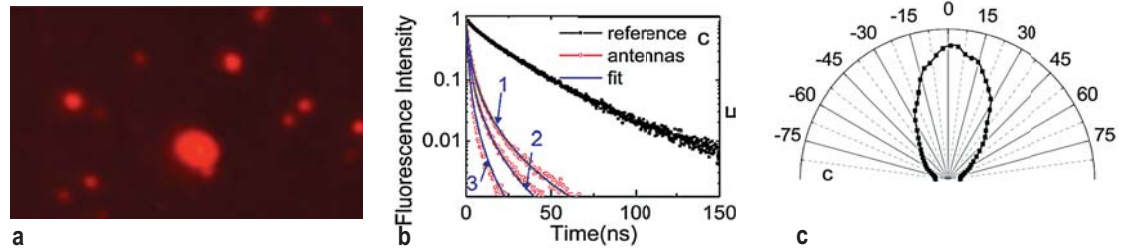


Figure 2

a) Images de microphotoluminescence d'une antenne patch couplée à des nanocristaux.

b) Courbes de déclin (réponse à une excitation impulsionnelle) de nanocristaux situés dans trois antennes de diamètres respectifs 1,6 (1), 1,9 (2) et 2,1 μm (3) et de nanocristaux dans un milieu homogène de référence (silice).

c) Distribution angulaire de l'émission par une antenne de diamètre 1,6 μm .

La photoluminescence issue de l'antenne (Fig. 2a) est environ 10 fois plus intense que celle provenant d'émetteurs sans antenne (points plus petits sur l'image). La mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne montre que l'émission (Fig. 2c) est concentrée dans un cône de 30° , ce qui favorise le couplage à un objectif de microscope ou à une fibre optique. Ce diagramme est donc en accord avec le modèle développé dans l'équipe de J.-J. Greffet. Les courbes de déclin des émetteurs couplés aux antennes présentent un déclin de 5 à 14 fois plus rapide que pour un émetteur en milieu homogène (Fig. 2b). Ces mesures, réalisées pour des ensembles de nanoémetteurs orientés aléatoirement, sont en adéquation avec l'accélération du déclin d'un facteur 70 prédite pour un dipôle orienté suivant l'axe de symétrie de l'antenne.

Une augmentation supérieure de l'émission lumineuse pourra être obtenue en remplaçant l'or par de l'argent ou en travaillant dans le proche infrarouge, ce qui permettra de limiter les pertes par effet Joule dans l'antenne. L'équipe travaille actuellement à la mise en place du protocole de lithographie *in situ* à l'INSP et à son adaptation au couplage à un seul nanocristal. Le but est d'ainsi étudier dans quelle mesure les propriétés quantiques d'émission lumineuse du nanocristal sont modifiées par l'antenne.

Référence

“Controlling Spontaneous Emission with Plasmonic Optical Patch Antennas”

C. Belacel, B. Habert, F. Bigourdan, F. Marquier, J.-P. Hugonin, S.-M. de Vasconcelos, X. Lafosse, L. Coolen, C. Schwob, C. Javaux, B. Dubertret, J.-J. Greffet, P. Senellart, A. Maître
Nano Letters 13, 1516 (2013)

Contact

agnes.maitre@insp.jussieu.fr

³ A. Doussé, L. Lanco, J. Suffczynski, E. Semenova, A. Miard, A. Lemaitre, I. Sagnes, C. Roblin, J. Bloch et P. Senellart, "Controlled Light-Matter Coupling for a Single Quantum Dot Embedded in a Pillar Micro cavity Using Far-Field Optical Lithography", *Physical Review Letters* 101, 267404 (2008).