

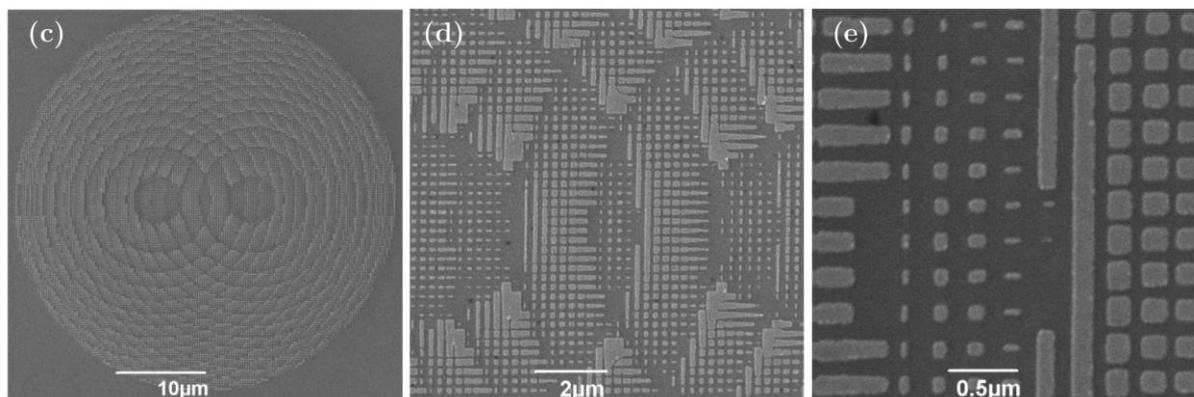
Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

Titre de la thèse : Conception de métasurfaces à gap-plasmons

Directeur de thèse : Antoine Moreau
Unité de rattachement : Institut Pascal, UMR CNRS 6022
Equipe : Elena/Photon
Etablissement de rattachement : Université Clermont Auvergne
Courriel et téléphone : antoine.moreau@uca.fr :: 0473407212
Co-encadrant éventuel :

Résumé :

Les métasurfaces sont des assemblages bidimensionnels de résonateurs optiques, généralement métalliques, donc plasmoniques (c'est à dire tirant leurs propriétés du gaz d'électrons contenu dans le métal). La réponse de chaque résonateur peut être résumée par deux grandeurs : d'une part la quantité de lumière renvoyée par le résonateur, d'autre part le déphasage subi par le rayonnement après interaction. En théorie, en associant une densité suffisante de résonateurs bien dimensionnés, on peut obtenir un contrôle complet du front d'onde. On peut ainsi fabriquer de véritables hologrammes ou concevoir des dispositifs[1] capables aussi bien de se comporter comme des lentilles que comme des coupleurs à modes de surface (voir figure). Plus simplement, les métasurfaces peuvent permettre de contrôler localement la couleur renvoyée, pour réaliser des procédés d'impression couleur sub-longueur d'onde et quasiment inaltérables.



Pour l'instant cependant, la conception et et la fabrication de ces dispositifs permettant ce contrôle ultime de la lumière reste problématique, malgré les démonstrations effectuées. Tout d'abord, les résonateurs optiques ne sont pas si simplement résumables à deux grandeurs, notamment parce qu'ils interagissent entre eux : la présence d'un résonateur influe sur les résonateurs voisins, ce qui modifie leur réponse. Il faut donc commencer à prendre en compte la complexité de leur réponse. Ensuite, la réalisation de ces structures demande souvent une technologie poussée, ce qui les rend chères, et pour l'instant il est difficile de les rendre dynamiques, c'est à dire de pouvoir modifier à volonté leur réponse optique.

Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

On peut lier une partie de ces problèmes au fait que les résonateurs considérés pour la conception de ces métasurfaces fonctionnent dans un régime assez « ouvert ». Ce sont des résonateurs « patch » optiques, c'est à dire des motifs métalliques posés sur un diélectrique d'une trentaine de nanomètres d'épaisseur lui-même posé sur du métal. Avec une telle épaisseur de diélectrique, les résonateurs ne profitent pas de la miniaturisation apportée par la plasmonique au maximum. L'avantage que cela procure, c'est de minimiser la quantité de lumière absorbée, mais par contre cela augmente l'interaction entre les résonateurs, et interdit de profiter de la miniaturisation des patches qui se produit quand on diminue cette épaisseur.

Le but de cette thèse est de déterminer le potentiel des résonateurs à gap-plasmon à faible épaisseur de diélectrique (de 5 à 10 nm) pour la conception de métasurfaces. On peut s'attendre à ce que de tels résonateurs absorbent nettement plus la lumière incidente, puisqu'ils constituent des cavités plus « fermées », ce qui est un clair désavantage. En contrepartie, ils interagissent moins entre eux, ils sont nettement plus petits par rapport à la longueur d'onde, les matériaux que l'on peut glisser dans le gap modifient plus clairement leur réponse optique pour les rendre leur réponse modulable, et surtout, il existe des techniques de fabrication (ou certaines sont en phase de test) qui permettent d'éviter de faire appel à la lithographie. Des résultats récents suggèrent même que l'on puisse utiliser ces résonateurs en transmission, ce qui ouvre des perspectives d'utilisation notamment dans le domaine du biosensing, c'est à dire de la détection de molécules d'intérêt biologiques.

En acceptant donc certaines contraintes inhérentes à ce type de résonateur optique, on voit bien qu'on ouvre d'autres perspectives. Ce sujet mêle à la fois la physique de ces résonateurs (leur diagramme de rayonnement vers l'espace libre ou en terme de plasmons de surface, la façon de moduler leur réponse, l'interaction entre résonateurs) et les problématiques liées à la conception des métasurfaces (trouver la bonne répartition des résonateurs pour obtenir l'effet désiré, sachant qu'il n'y a pas de solution unique à un tel problème). On s'attend à ce que les deux s'influencent : la conception peut sans doute s'accommoder de contraintes nouvelles, tandis qu'elle va conditionner le choix des résonateurs.

Ce projet sera mené en interaction avec des équipes de Marseille pour l'expérimental et de Sophia-Antipolis (CRHEA et INRIA) pour la théorie et l'approche numérique de ces objets complexes mais fascinants.

[1] Sergejs Boroviks, Rucha A Deshpande, N Asger Mortensen, and Sergey I Bozhevolnyi. Multifunctional metamirror: polarization splitting and focusing. *ACS Photonics*, 5(5):1648–1653, 2017.

[2] Antoine Moreau, Cristian Ciraci, Jack J Mock, Ryan T Hill, Qiang Wang, Benjamin J Wiley, Ashutosh Chilkoti, and David R Smith. Controlled-reflectance surfaces with film-coupled colloidal nanoantennas. *Nature*, 492(7427):86–89, 2012.

[3] Escoubas, L., Carlberg, M., Le Rouzo, J., Pourcin, F., Ackermann, J., Margeat, O., ... & Berginc, G. (2019). Design and realization of light absorbers using plasmonic nanoparticles. *Progress in Quantum Electronics*, 63, 1-22.