

Excitation, propagation et détection d'états hybrides plasmon Tamm/plasmon de surface: vers un nouveau concept de détection optique sensible aux effets de surface

Stefano Azzini¹, Guillaume Lheureux¹, Clémentine Symonds¹, Pascale Senellart², Aristide Lemaitre², Jean-Jacques Greffet³, Joel Bellessa¹

¹ Institut Lumière Matière, UMR5306 CNRS-Université Lyon 1, Villeurbanne, France

² Laboratoire de Photonique et des Nanostructures, UPR20 CNRS, Marcoussis, France

³ Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique CNRS,

Adresse email de l'orateur : stefano.azzini@univ-lyon1.fr

Les modes plasmon Tamm sont des états électromagnétiques qui apparaissent à l'interface entre une couche métallique et un empilement diélectrique de type miroir de Bragg (DBR) [1]. Ceux-ci présentent des propriétés optiques à la frontière entre modes de cavité et plasmons de surface. Par rapport à ces derniers, les plasmons Tamm offrent deux avantages : une excitation optique directe par la surface, sans utilisations de prismes ou réseaux, et des pertes réduites, grâce à la plus grande pénétration du champ électrique dans le DBR. L'exploitation de ce dernier aspect a déjà permis plusieurs études expérimentales concernant le couplage entre le plasmon Tamm et des nanostructures semiconductrices (puits quantiques, boîtes quantiques), qui ont permis d'observer l'existence du régime du couplage fort [2], de l'émission laser [3] et d'une source brillante de photons uniques [4]. Les plasmons Tamm à l'interface métal/DBR coexistent avec les plasmons de surface métal/air dans la même structure. En fonction de l'épaisseur de la couche de métal, un échange d'énergie est possible entre les deux modes aux grands angles (vecteurs d'onde), en dessous du cône de lumière (voir cercles en pointillés en Figure 1(a)). Cela emmène à la formation d'états plasmoniques hybrides [5] qui ont la faculté de se propager le long de la couche métallique.

Dans ce travail de recherche, nous avons étudié par spectroscopie optique à 77K la structure schématisée en Figure 1 (b). Elle est composée d'un DBR constitué de 40 paires des couches AlGaAs/AlAs d'épaisseurs $\lambda/4n$, réalisées par épitaxie à faisceau moléculaire, dans lequel un plan à haute densité de boîtes quantiques a été inséré, 40nm en dessous de la

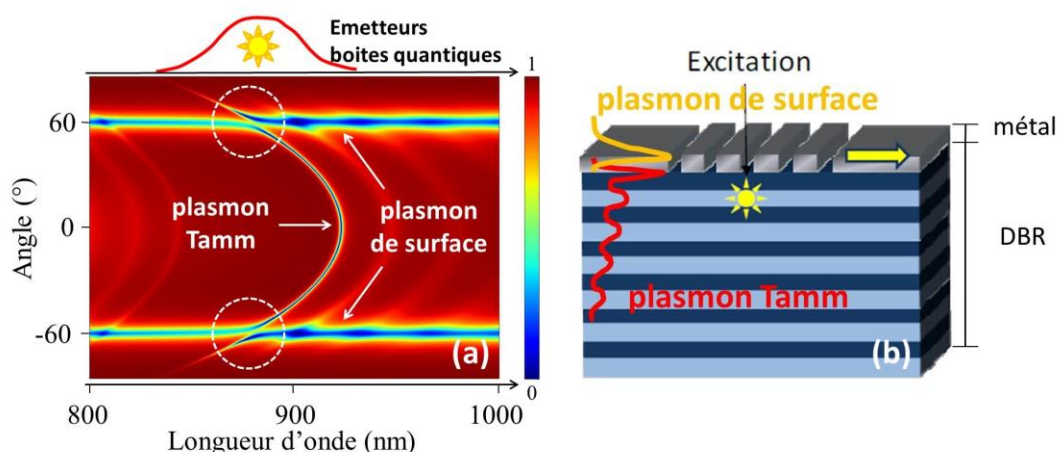


Figure 1: (a) Relation de dispersion des modes optiques qui caractérisent une structure hybride métal/DBR. Les cercles en pointillés mettent en évidence les états mélangés plasmon Tamm/plasmon de surface. (b) Schéma de la structure étudiée: les boîtes quantiques excitées optiquement peuvent émettre dans le plasmon Tamm, qui se couple avec le plasmon de surface dans le film métallique. Un état hybride peut alors se propager dans le métal, et être détecté à l'aide d'un réseau.

surface. Des dispositifs comprenant un réseau 1D de lignes ont été fabriqués par lithographie électronique, dans une couche mince de résine déposée sur le DBR (voir Figure 2(a)). Après développement, un film de 30nm d'Argent est évaporé directement sur l'échantillon. La photoluminescence à large spectre des boîtes quantiques excite directement le plasmon Tamm, grâce au bon couplage spatial entre les émetteurs et le champ électrique du mode. Le plasmon Tamm se couple ensuite au plasmon de surface, qui est ainsi indirectement excité par les boîtes quantiques elle-même. La présence du réseau permet le repliement du plasmon de surface dans le cône de lumière, rendant ainsi possible sa détection par la surface.

Dans cette contribution, nous allons vous présenter en détail les résultats expérimentaux de nos études. D'abord, nous avons mené des mesures de la photoluminescence du réseau résolue en angle (voir Figure 2b comme exemple) : grâce au repliement de relations de dispersion opéré par le réseau, ces images permettent d'étudier, à l'intérieur du cône de lumière, l'interaction entre les différents modes. Ensuite, nous avons mené des expériences de mesure de la propagation des états hybrides plasmon Tamm/plasmon de surface: nous avons observé la nature hybride du mode aussi bien que le phénomène du battement spatial entre les deux modes dont il est composé. Enfin, nous allons proposer d'utiliser ces nouveaux modes plasmoniques hybrides pour en faire des capteurs sensibles à l'énergie, contrairement aux capteurs basés sur résonance de plasmon de surface, qui sont sensibles à l'angle [6].

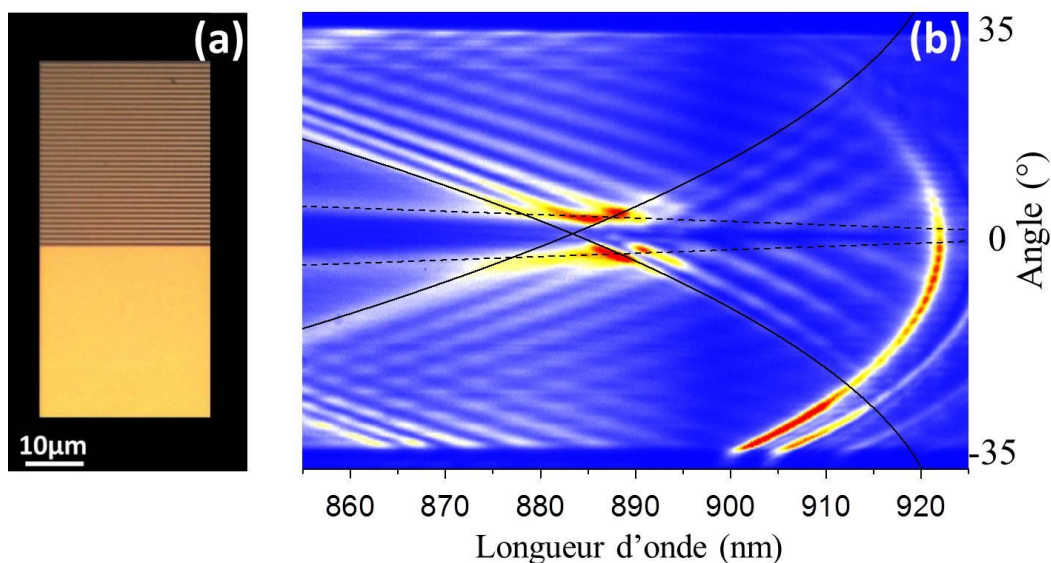


Figure 2: (a) Image MEB de la surface de l'échantillon après développement. Un réseau 1D de période 900nm, composé par des lignes de largeur 500nm, est lithographié à côté d'une région entièrement développée. Une couche mince d'Argent est ensuite déposée de manière à recouvrir toute la surface. Un tel réseau permet la détection des états hybrides excités optiquement dans la partie de la structure sans aucune structuration. (b) Image, en polarisation TM, du plan de Fourier de la photoluminescence obtenue par excitation laser sur le réseau métallique. En évidence, les modes Tamm plasmons (lignes solides) et les plasmons de surface (lignes pointillées) d'ordre ± 1 repliés dans le cône de lumière par la dispersion du réseau.

- [1] M. Kaliteevski, et al., *Tamm plasmons-polaritons: Possible electromagnetic states at the interface of a metal and a dielectric Bragg mirror*, Phys. Rev. B **76**, 165415 (2007)
- [2] C. Symonds, et al., *Emission of Tamm plasmon/exciton polaritons*, Appl. Phys. Lett. **95** (2009)
- [3] C. Symonds, et al., *Lasing in a hybrid GaAs/silver Tamm structure*, Appl. Phys. Lett. **100**, 121122 (2012)
- [4] O. Gazzano, et al., *Single photon source using confined Tamm plasmon modes*, Appl. Phys. Lett. **100**, 232111 (2012)
- [5] B. I. Afinogenov, et al., *Observation of hybrid state of Tamm and surface plasmon-polaritons in one-dimensional photonic crystals*, Appl. Phys. Lett. **103**, 1-4 (2013)
- [6] www.biocore.com/lifesciences; www.bionavis.com