ETUDE DU PIEGEAGE OPTIQUE BASE SUR UNE NANO-ANTENNE METALLIQUE INTEGREE A L'EXTREMITE D'UNE FIBRE OPTIQUE POUR LA MICROSCOPIE OPTIQUE EN CHAMP PROCHE

Nyha Hameed[1], Ali El Eter[1], Thierry Grosjean[1], Fadi I. Baida[1]

[1] *Institut FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Département d'Optique P. M. Duffieux, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France*

nyhamajeed.hameed@femto-st.fr

RÉSUMÉ

Nous avons étudié le piégeage optique de nanoparticule basé sur un effet d'antenne obtenu avec une nano-ouverture papillon (BNA) gravée à l'extrémité d'une sonde de microscope optique en champ proche. Un très bon accord est obtenu entre les résultats théoriques et expérimentaux montrant le piégeage de nanoparticules en Latex de 250 nm de rayon avec une faible puissance injectée. Une étude théorique supplémentaire a été réalisée pour analyser le piégeage de plus petites particules diélectriques de l'ordre de 30 nm de rayon.

MOTS-CLEFS : PIEGEAGE OPTIQUE ; NANO-ANTENNE; FORCE OPTIQUE.

1. INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années, les pinces optiques ont attiré l'intérêt des chercheurs en raison de leur capacité unique à manipuler des nano-objets sans contact. Elles trouvent de nombreuses applications en physique et en biologie [1]. Cependant, les pinces optiques conventionnelles (faisceaux focalisés) présentent des limites en termes de taille des particules à piéger et de compacité liée à la limite de diffraction régie par le critère de Rayleigh. A l'évidence, il s'agit d'un problème fondamental pour les chercheurs limitant la manipulation de particules de dimensions sub-longueur d'ondes. Pour pallier ce problème, les chercheures ont développé au cours de ces dernières années plusieurs techniques. Une des possibilités est l'utilisation de fibres optiques qui évitent l'utilisation d'un système optique volumineux et complexe. La réalisation récente de piégeage optique avec des nano-antennes plasmoniques [2] a ouvert la voie à la manipulation de nanoparticules sub-longueur d'onde d'une manière très contrôlée et reproductible. Cependant, les architectures optiques proposées jusqu'à présent sont limitées à des nano-antennes fabriquées sur des substrats plans et qui sont excitées optiquement à l'aide de systèmes optiques qui restent volumineux.

Notre approche ici est basée sur une nano-antenne à ouverture papillon (BNA) fabriquée à l'extrémité d'une nano-sonde optique pour des applications SNOM. Grâce à cette nouvelle approche, on génère un champ électromagnétique très intense résultant de l'interaction du mode guidé de la fibre optique avec la nano-antenne elle-même qui est gravée préalablement à son extrémité. Il en résulte un fort gradient de champ électrique qui peut générer des forces optiques capables de piéger des nanoparticules de Latex de l'ordre de 500 nm de rayon avec de faibles puissances injectées de l'ordre du mW. En plus de l'expérience, un travail théorique est effectué pour modéliser et quantifier les forces générées. Ce travail est basé sur le calcul de forces optiques en utilisant un modèle rigoureux basé sur la théorie de Lorentz qui utilise le tenseur de contraintes de Maxwell [3] s'appuyant sur des simulations numériques dans le domaine temporel (FDTD-3D) pour le calcul du champ électromagnétique au voisinage de la nanostructure (sonde + nano-antenne + nanoparticule).

2. RESULTATS THEORIQUES ET EXPERIMENTAUX

La figure.1 (a) présente un schéma du modèle théorique étudié où la sonde et la nanoparticule à piéger se trouvent immergées dans l'eau. En effet, il important de noter que le piégeage ne se fait jamais dans l'air puisque le poids des nanoparticules est très grand devant la force optique. Ainsi pour compenser cette force de gravitation, l'étude expérimentale se fait dans l'eau (la poussée d'Archimède compense plus ou moins le poids de la particule et on isolera la force optique). Les paramètres de la nano-antenne à ouverture papillon ont été optimisés afin qu'elle présente une résonance à 1064 nm (l'eau est très peu absorbante à cette longueur d'onde).

Nous avons calculé les forces optiques pour une particule en latex de 500nm de diamètre lorsqu'elle se trouve dans deux plans verticaux perpendiculaires contenant l'axe de la sonde ; soient xOz et yOz. (voir partie basse des figures.1 (b) et (c)). Le potentiel U, défini par **F** = **-grad** (U), a été déduit (voir partie haute des mêmes figures) dans les deux plans respectivement. Sur la figure.1 (d) nous présentons l'amplitude de la force optique le long de l'axe de la sonde (lorsque la bille s'écarte de la nano-antenne fibrée). Nous pouvons remarquer que, pour des raisons évidentes de symétrie il n'y a pas de composantes latérales à la force le long de l'axe de la sonde tandis que la composante verticale est positive indiquant une force d'attraction (puits de potentiel). Pour les petites distances (d=45nm) la force d'attraction est assez grande (compensation du poids de la bille) pour induire un piégeage efficace de la bille qui sera « plaquée » contre la BNA avec un puits de potentiel de 300 kT comme illustré sur la figure.1 (e).

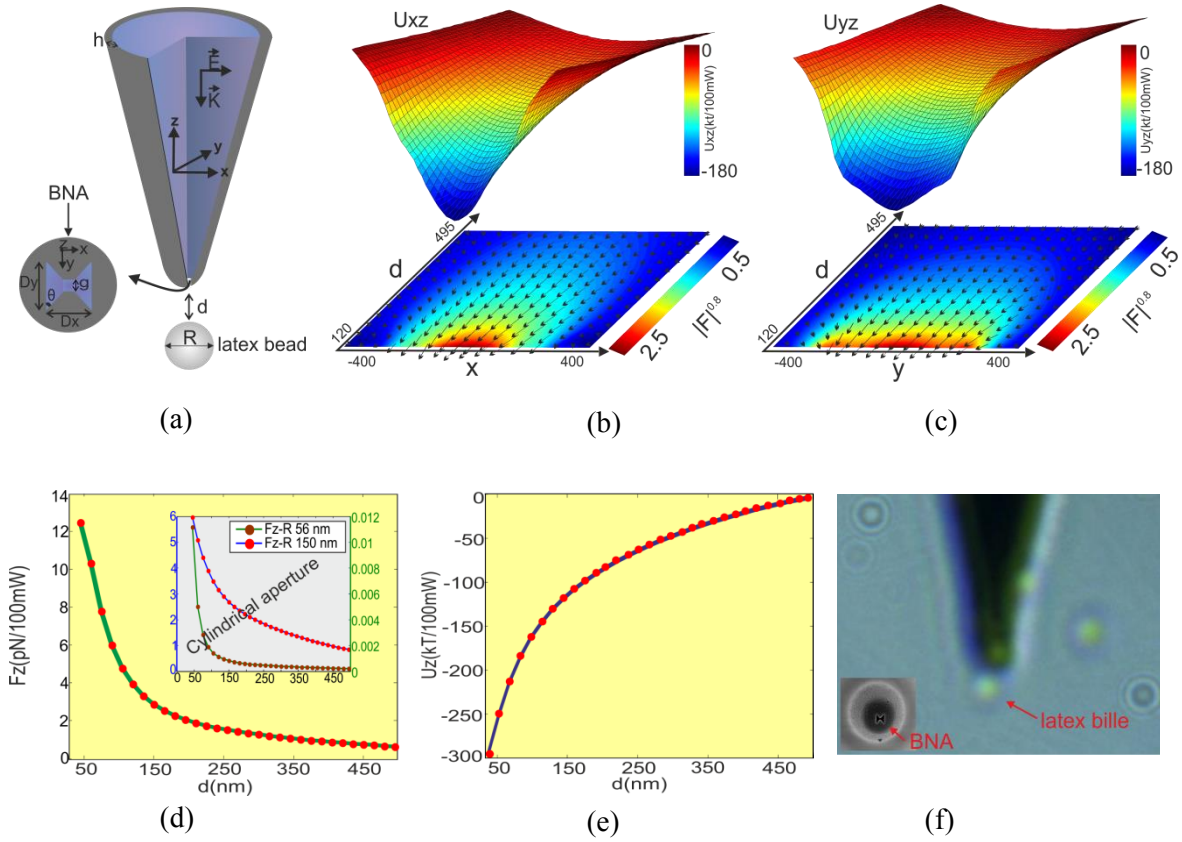

Fig. 1 : (a) Schéma de la pointe à ouverture papillon.(b,c)(En bas : les forces optiques. En haut : puits de potentiel pour le deux plans xOz,yOz respectivement.(d) l'amplitude de la force optique le long de l'axe de la BNA.(e) le potentiel correspondant montrant un puits de 300 kT.(f) Résultat expérimental)

Ces résultats sont en parfait accord avec l'expérience que nous avons menée où la BNA sur fibre a été utilisée pour piéger une nano-bille de Latex de 500 nm de diamètre [4], figure.1 (f). Le piégeage est obtenu lorsque la nano-antenne résonne avec une puissance lumineuse injectée de l'ordre de 1 mW.

Une étude théorique complémentaire a montré que ce type de sonde composée de nano-antenne fibrée permet le piégeage de particules de latex assez petites (rayon de 30nm) et ouvre donc la voie à la conception de nano-pinces optiques pour la manipulation de nano-objets, voire de molécule unique, avec un large panel d'applications.

RÉFÉRENCES

[1] K. C. Neuman and S. M. Block, "Optical trapping," Rev. Sci. Instrum. 75(9), 2787–2809 (2004).

[2] K. Wang, E. Schonbrun, P. Steinvurzel, and K. B. Crozier, "Scannable plasmonic trapping using a gold stripe," Nano Lett. 10(9), 3506–3511 (2010).

[3] K. Visscher and G. J. Brakenhoff, "Theoretical Study Of Optically Induced Forces On SphericalParticlesIn a Single Beam Trap II: Mie Scatterers," Optik, vol. 90, pp. 57–60.

[4] El Eter, A.; Hameed, N. M.; Baida, F. I; Salut, R.; Filiatre, C.; Nedeljkovic, D.; Atie, E.; Bole, S.; Grosjean, T."Fiber-integrated optical nano-tweezer based on a bowtie-aperture nanoantanna at the apex of a SNOM tip Opt. Express 2014,22 10072 – 10080.