

Sensibilité de la résonance d'une nano-antenne optique à ouverture papillon fibrée

Elie Atie^{1,2}, Tony Tannous², T. Grosjean¹ et Fadi I. Baida¹

¹ Institut FEMTO-ST, Département d'Optique P.M. Duffieux, CNRS UMR 6174, Université de Franche-Comté, 16 route de Gray, 25030 Besançon cedex, France.

² Université de Balamand, Département de Physique, El Koura - Liban.

(Adresse électronique de l'auteur: elie.atie@femto-st.fr)

Résumé

Nous présentons une étude théorique, basée sur la méthode des différences finies FDTD-3D, étudie la sensibilité de la résonance d'un nano-antenne à ouverture papillon placée en face d'un substrat d'indice de réfraction connu. L'étude a démontré la sensibilité de la nano-antenne à l'indice du substrat ainsi qu'à la distance les séparant.

Mots-clefs : Nano-Photonique ; Propagation guidée ; Capteurs et microsystèmes en optique guidée

1. Introduction

Dans ce papier nous présentons une étude de la réponse optique d'un nano-antenne à ouverture en forme de nœud papillon (BNA : Bowtie nano-aperture) [1], gravée au bout d'une sonde de microscope optique en champ proche métallisée et placée à une distance « D » d'un substrat d'indice de réfraction « n » (figure 1). Des simulations numériques basées sur la méthode des différences finies FDTD-3D (Finite Difference Time Domain à trois dimensions) sont réalisées de façon intensive afin d'étudier les deux modes de fonctionnement (collection et émission) de la sonde. Le code utilisé est développé au sein du département d'Optique de l'Institut FEMTO-ST [2]. Notre modèle numérique intègre, en plus de la nano-antenne elle-même, la partie conique de la sonde SNOM sur laquelle est gravée la nano-antenne. De même, les propriétés optiques de la couche métallique de la sonde sont bien décrites à travers l'implémentation d'un modèle analytique de dispersion [3] fidèle aux données expérimentales [4].

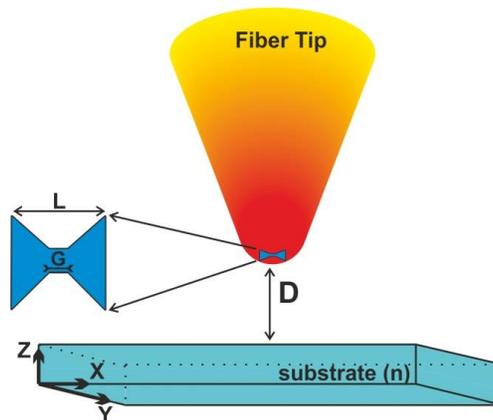


Figure 1: BNA gravée au bout d'une pointe de fibre métallisée et placée à une distance D d'un substrat.

Nous nous sommes intéressés à la sensibilité de la résonance de la BNA, aussi bien sa longueur d'onde de résonance que le confinement du champ électrique au niveau de son gap, en fonction de la

distance D qui la sépare du substrat. Les résultats obtenus montrent une forte modification de la réponse optique de la BNA dont les expérimentateurs devraient tenir compte afin de concevoir la nano-antenne adéquate pour l'application visée (lithographie, piégeage optique, imagerie résonante, ...).

1. Etude en mode collection

L'étude a pris en compte deux types de substrat, verre ($n=1,5$) et l'InP ($n=3,17$), et comme déjà indiqué ci-dessus on discute les deux modes de fonctionnement de la BNA.

Premièrement, on a étudié le cas du mode collection et cela en injectant une onde plane se propageant à incidence nulle dans le substrat. D'autre part et pour bien quantifier la sensibilité de résonance par rapport au distance on a calculé la longueur d'onde de résonance et le confinement du champ au milieu de l'antenne (figure 2a) mais aussi en calculant l'énergie collectée par la fibre (flux du vecteur de Poynting à travers une section transversale de la fibre) (figure 2b).

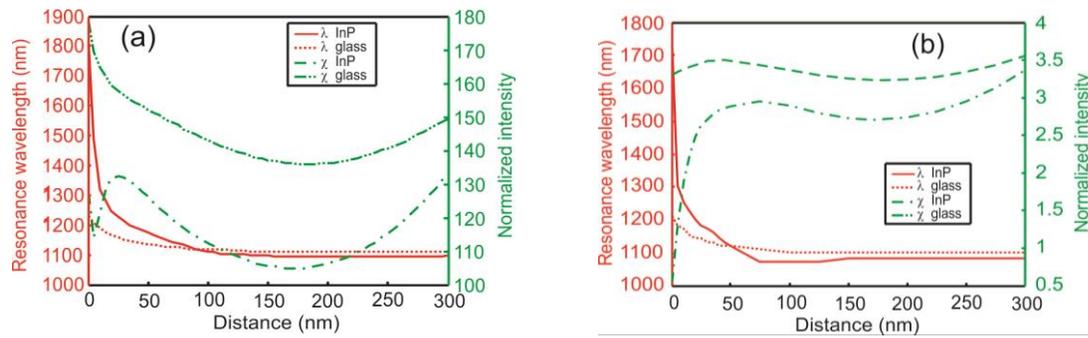


Figure 2 Longueur d'onde de résonance (rouge) et facteur d'exaltation de l'intensité électrique (vert) calculés au milieu de la nano-antenne (à gauche) et en champ lointain collecté par la fibre (à droite) pour deux substrats différents (InP avec $n=3.17$ et verre ayant $n=1.5$) en mode collection.

Les résultats démontrent que la sensibilité est plus important dans le cas d'InP que dans le cas du Verre. Plus l'indice de réfraction est grand plus la sensibilité est importante et ceci d'autant plus vrai que la distance sonde-substrat est faible.

2. Etude en mode émission

De même une étude du BNA opérant en mode collection a été effectuée en injectant le mode fondamental de la fibre. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 3 en termes de fréquence de résonance et d'exaltation du champ calculés au milieu du gap de la nano-antenne.

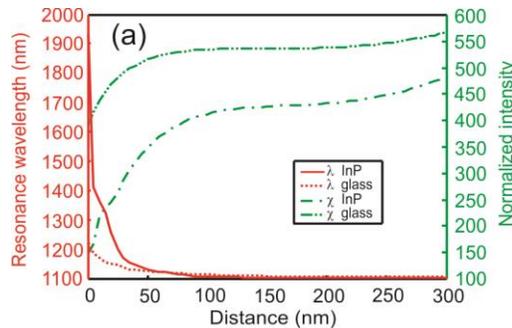


Figure 3: Longueur d'onde de résonance (rouge) et facteur d'exaltation de l'intensité électrique (vert) calculés au milieu de la nano-antenne pour deux substrats différents (InP avec $n=3.17$ et verre ayant $n=1.5$) en mode collection.

Conclusion

Pour les deux modes de fonctionnement, les résultats obtenus montrent, d'une part, une forte sensibilité à la variation de la distance dans le cas de la présence du substrat InP (fort indice de réfraction) tandis que cette sensibilité diminue à la présence du substrat du verre. D'autre part, Les modifications de la longueur d'onde de résonance ne diffèrent pas en fonction du mode de fonctionnement ce qui n'est pas le cas du facteur d'exaltation du champ électrique. En effet, pour le mode émission le substrat est uniquement éclairé par la résonance de la BNA ce qui est totalement différent au cas du mode collection où l'onde plane interagit directement avec le substrat.

Référence

- [1] M. Mivelle, I.A. Ibrahim, F. Baida, G.W. Burr, D. Nedeljkovic, D. Charraut, J-Y. Rauch, R. Salut, and T. Grosjean, « Bowtie nano-aperture as interface between near-fields and a single-mode fiber » Optics Express, Vol. 18, Issue 15, pp. 15964-15974 (2010).
- [2] F.I. Baida et A. Belkhir, « Theory and numeric applications », Chap. 9, Ed. E. Popov, Presse Universitaire de Provence, France (2013).
- [3] R. M. Joseph, S; C. Hagness and A. Taflove, «Direct time integration of Maxwell's equations in linear dispersive media with absorption for scattering and propagation of femtosecond electromagnetic pulses », Opt. Lett. 16, 1412-1414 (1991).
- [4] E. Palik, "Handbook of optical constants of solids", Ed. Edward D. Palik, Academic Press, San Diego, USA (1991).