РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА ЛИНЕЙНОГО КЛАСТЕРА САМОПОДОБНЫХ СЕРЕБРЯНЫХ НАНОПРОВОДОВ

Стогний Н.П.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Науки, 14, каф. высшей математики,
тел. (057) 702-13-72)
e-mail: nadiia.stohnii@nure.ua

We investigate the resonances properties of self-similar linear cluster of silver nanowires and compare the obtained results with the characteristics of identical (or standard) coupled nanowires. We came to the conclusion that such a structural complexity of cluster is able to provide significant increase in the concentration of the local field in the gap between the smallest nanowires. Optimized forms of clusters with narrowband and high-intensity plasmonic resonances are revealed.

В настоящее время плазмонные свойства металлических нанопроводов являются актуальной темой в области наноплазмоники [1]. Локализованные поверхностные плазмоны возникают из-за коллективных колебаний электронов проводимости, возбуждаемых внешним электромагнитным полем на границе между металлом и диэлектрической средой. Типичными металлами, демонстрирующими такие плазмонные свойства, являются серебро [2], золото, платина и другие.

Для достижения большой концентрации оптических полей группа ученных предложила исследовать самоподобные кластеры, состоящие из наносфер серебра [3]. Это позволило создать эффективные нанолинзы, демонстрирующие «горячие точки» с гигантскими усилениями поля. Также уже использованы самоподобные наночастицы золота для каскадного усиления поля.

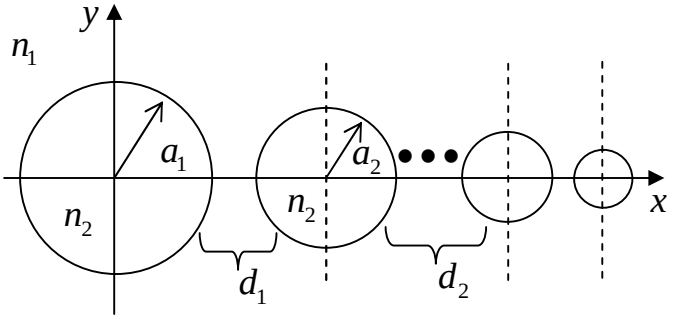
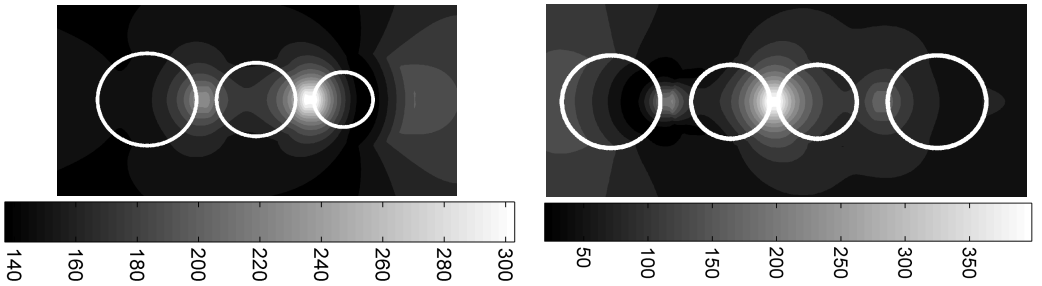


Рис. 1. Геометрия задачи.

В нашей работе мы рассмотрели конечный линейный кластер из нескольких серебряных нанопроводов с постепенно убывающими радиусами и расстояниями между ними (см. Рис. 1). В расчетах мы предполагаем, что радиус каждого нанопровода $a_1, a_2, ..., a_n$ и расстояния между ними $d_1, d_2, ..., d_{n-1}$. Показатель преломления металла n_2 интерполирован из исходных оптических данных для серебра [4]. Мы также предполагаем, что наша структура встроена в среду с показателем преломления $n_1 = 1$ и зависимость от времени – $e^{+i\omega t}$.

Было установлено, что самоподобные и стандартные нанопровода демонстрируют усиление дальнего поля одного и того же порядка, однако провода с уменьшающими радиусами показывают более интенсивное резонансное смещение. Сдвиг достигает максимума, когда расстояние между нанопроводами приблизительно равно длине волны.



(а) (б)

Рис. 2. Распределение ближнего магнитного поля для серебряных самоподобных нанопроводов линейного кластера для расстояния между ними $d_{1,\ldots,n-1}=5$ нм ($n_1=1$): (а) $a_1=25$ нм, $a_2=20$ нм, $a_3=15$ нм, $\lambda=342$ нм; (б) $a_1=a_4=25$ нм, $a_2=a_3=20$ нм, $\lambda=343.5$ нм.

На Рис. 2 показано магнитное поле ближнего поля для трех и четырех серебряных нанопроводов линейного кластера с расстоянием между ними 5 нм. Мы видим, что при увеличении числа нанопроводов концентрация поля в зазоре между ними увеличивается и максимальное усиление этих полей очень чувствительно к форме исследуемой структуры. Мы также исследовали центрально-симметричный линейный кластер самоподобных нанопроводов (см. Рис. 1 (б)). В этом случае «горячая точка» появляется в зазоре между наименьшими нанопроводами. Видно, что между наименьшими нанопроводами локальное поле увеличивается более чем в 317 раз по сравнению с изолированным проводом. Самоподобие не является необходимым условием фокусировки и концентрации поля в наноразмерной области, но это приводит к особой эффективной формулировке проблемы и ее решению.

Список источников

[1] N. P. Stognii and N. K. Sakhnenko, “Accurate investigation of coupled plasmonic resonances in a chain of silver nanowires,” Proc. In. Conf. Math. Meth. Electr. Th. (MMET-2016), pp. 192-195, Lviv, Ukraine, July 5-7, 2016.

[2] D. M. Natarov, “Modes of a core-shell silver wire plasmonic nanolaser beyond the Drude formula,” J. Opt., vol. 16, no 7, pp. 075002/6, 2014.

[3] K. Li, M. I. Stockman, and D. J. Bergman, “Self-similar chain of metal nanospheres as an efficient nanolens,” Phys. Rev. Lett., vol. 91, no 22, pp. 227402-4, 2003.

[4] P. Jonson and R. Christy, “Optical constants of the noble metals,” Phys. Rev. B, vol. 6, pp. 4370-4379, 1972.