УВЕЛИЧЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ ПЛАЗМОННЫХ РЕЗОНАНСОВ В ЦЕПОЧКЕ МЕТАЛИЧЕСКИХ НАНОПРОВОДОВ

Стогний Н.П., Сахненко Н.К.

Научный руководитель – к.ф-м.н., доц. Сахненко Н.К.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. высшей математики,
тел. (057) 702-13-72)
e-mail: nstognii@gmail.com, т. 0978445076

Plasmon resonances and their quality factors of an isolated metal wire and of a linear chain of coupled metal wires are theoretically investigated. Mechanism of the plasmonic modes coupling that can be considered as symmetric and antisymmetric combinations of isolated wire plasmons is investigated. Accurate analysis of the spectrum of different plasmon resonances is presented. Significant enhancement of the plasmonic quality factor is revealed.

В последние годы поверхностные плазмоны являются предметом значительного интереса, что связано, прежде всего, с возможностью значительного усиления поля для субволновых структур [1]. В связи с этим широко обсуждаются возможности применения плазмонов для создания эффективных оптических наноантенн [2], субволновых резонаторов [3], спайсеров [4] и для повышения чувствительности биосенсоров [5].

Цель данной работы – показать, что с возрастанием количества проводов в цепочке увеличивается добротность плазмонных резонансов, а также исследовать основные типы поверхностных плазмонов.

Исследуются плазмонные резонансы в изолированном металлическом проводе бесконечной протяженности и в цепочке аналогичных N связанных проводов. Радиус каждого нанопровода a, расстояние между ними d, окружающее пространство – вакуум. Диэлектрическая проницаемость плазмы ε_p описывается моделью Друде $\varepsilon_p(\omega) = 1 - \omega_p^2 \cdot (\omega(\omega + i\gamma))^{-1}$. Здесь ω_p - плазменная частота, величина γ описывает потери. Возбуждение плазмонных резонансов (поверхностных плазмонов) возможно, когда $\varepsilon_p < 0$ или, что эквивалентно, $\omega_p > \omega$. Рассматриваются перпендикулярно поляризованные поля.

Для двух и более связанных проводов структура имеет две оси симметрии, что приводит к возможности возбуждения $2N$ плазмонов с одним и тем же числом угловых вариаций поля, но различной симметрией: EE (поле является четным относительно осей x и y), OE (x - нечетное, y - четное), EO, OO плазмоны [6].

На Рис. 1 показаны действительные значения собственных частот возбуждаемых плазмонов для цепочки из N связанных проводов для $s=1$(где s - это число угловых вариаций поля). Очевидно, что плазмонные резонансы для удаленных проводов почти одинаковы и с увеличением расстояния частоты стремятся к частоте соответствующего плазмона изолированного нанопровода. С уменьшением расстояния между проводами сдвиг частоты связанных плазмонов резко увеличивается. Также видно, что собственные частоты уменьшаются с увеличением количества проводов (для несвязанных комбинаций). На вставке Рис. 1 показано распространение EEa и EEb плазмонов для цепочки, состоящей из 4 нанопроводов, для $s=1$.

Добротность плазмонов (Q) для цепочки нанопроводов показана на Рис. 2. Для связанных проводов, расположенных на определенном расстоянии, добротность плазмонов, очевидно, больше, чем добротность плазмона изолированного провода.

Таким образом, с возрастанием количества проводов в цепочке происходит увеличение добротности плазмонных резонансов.

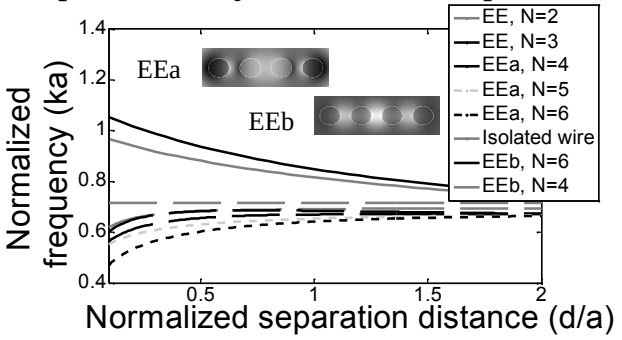

Рис. 1. Зависимость нормированной частоты от нормированного расстояния между N связанными проводами линейной цепочки для EE плазмонов ($s=1, \omega_p a/c=1, \gamma\omega_p a/c=10^{-3}$).

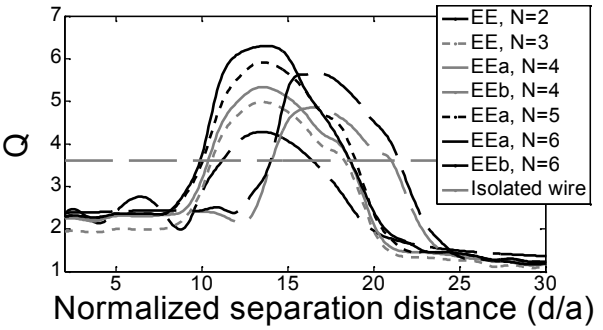

Рис. 2. Добротность EE плазмонов для цепочки из N связанных проводов ($s=1, \omega_p a/c=1, \gamma\omega_p a/c=10^{-3}$)

Список источников:

1. Stogniy (Stognii) N., Sakhnenko N. Theoretical Study of Plasmon Resonances in Linear Chain of Silver Nanowires//Proc. Int. Conf. Laser and Optical Networks Modeling (LFNM-11), Kharkiv, Ukraine. – 2011. – 043. ***2.*** Muhlschlegel P., Eisler H., Martin O., Hecht B., Pohl D. Resonant optical antennas // Science. – 2005. – V. 308. – P. 1607 - 1609. ***3.*** Li J., Engheta N. Ultracompact sub-wavelength plasmonic cavity resonator on a nanowire // Phys. Rev. B. – 2006. – V. 74. – P. 115125. ***4.*** M. Noginov, G. Zhu, A. Belgrave, R. Bakker, V. Shalaev, E. Narimanov, S. Stout, E. Herz, T. Suteewong, and Wiesner. Demonstration of a spaser-based nanolaser// Nature. – 2009. – V. 460, P. 1110-1113. ***5.*** Kim K., Yoon S.J., Kim D. Nanowire-based enhancement of localized surface plasmon resonance for highly sensitive detection: a theoretical study // Optics Express. – 2006. - V. 14, №25. - P. 12419-12431. ***6.*** Sakhnenko N., Stognii N., Nerukh A. Hybridization of Plasmons in Coupled Nanowires//Int. Conf. on Micro- and Nano-photonics material and devices (MINAP-2012), Trento, Italy. – 2012. – P. 69-72.