

ПЛАЗМОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО НАНОПРОВОДА И НАНОТРУБКИ

Готовская А.В.

Научный руководитель – к. ф.-м. н. Стогний Н.П.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Науки, 14, каф. ВМ, тел. (057) 702-13-72)

e-mail: nadiia.stohnii@nure.ua

Actual problem of radiophysics that based on effective analytical and numerical study of stationary fields in systems of two-dimensional structure has been solved. Isolated metal nanowire and nanotube were considered. All the possible plasmon modes of wires of the specified configurations has been described and classified. Corresponding equations for finding the complex eigenvalues has been obtained. Field distributions in the near field, their frequency and quality factor has been studied.

Основным преимуществом прямых численных методов является их универсальность, однако при этом возникает необходимость использования мощных вычислительных машин, а также могут возникнуть сложности с интерпретацией результатов, иногда появляются проблемы с медленной сходимостью или устойчивостью решения. Аналитические решения дают глубокое понимание основных физических свойств исследуемых явлений, но возможны только для узкого ограниченного класса задач [1, 2]. В нашей работе мы используем численно-аналитические методы, которые совмещают эти два подхода и предоставляют возможность создания эффективных вычислительных алгоритмов и облегчают интерпретацию полученных результатов.

В данной работе рассмотрены объемные и поверхностные плазмоны нанопровода и нанотрубки. Моделью провода служит круговой цилиндр радиуса a бесконечной протяженности, диэлектрическая проницаемость внутренней среды которого описывается моделью Друде $\varepsilon_p = 1 - \omega_p^2 \cdot (\omega(\omega - i\gamma))^{-1}$, где ω_p – плазменная частота, γ – коэффициент поглощения. Внешняя среда – диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε_1 . Все среды предполагаются немагнитными, зависимость от времени задается в виде $e^{i\omega t}$. Исходными уравнениями являются уравнения Максвелла, дополненные материальными уравнениями и граничными условиями. Исследованы собственные состояния поля (плазмонные моды), существующие в отсутствии источников, и колебания, возбуждаемые сторонними полями. Все собственные частоты, удовлетворяющие дисперсионному уравнению, комплекснозначны вида $\omega = \omega' + i\omega''$, $\omega'' > 0$.

Основное внимание уделено изучению поверхностных плазмонов, существующих в зоне непрозрачности металла и только в H -поляризации. Были исследованы комплексные собственные частоты, добротности и распределения полей поверхностных плазмонов сплошного провода и провода с аксиально симметричной полостью радиуса b – трубки. Установлено, что в отличие от провода, дисперсионное уравнение для трубки при каждом фиксированном s (s - число вариаций поля по угловой переменной) имеет не одно, а два различных решения. Существуют плазмоны, магнитное поле которых на внутренней и внешней стороне

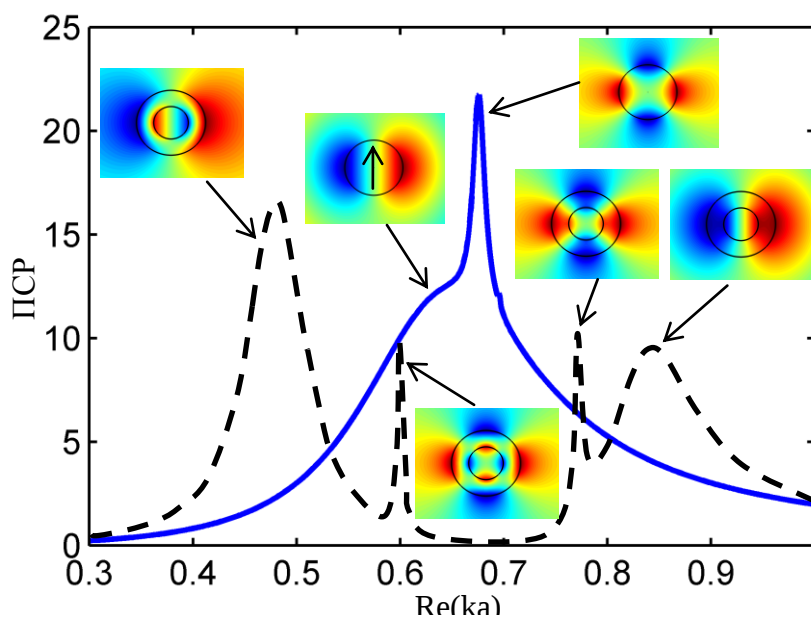


Рис. 1. ПСР для металлического провода (сплошная линия) и трубки (пунктирная линия):

$$w_p = 1, \gamma = 10^{-3} \cdot w_p, b/a = 0.5$$

число) и квадрупольный ($\text{Re}(ka) = 0.675$) плазмоны. В ПСР трубки наблюдается расщепление плазмонных резонансов. Нечетные плазмоны смещаются в область более низких частот ($\text{Re}(ka) = 0.48$ и $\text{Re}(ka) = 0.6$), а четные – в область более высоких частот ($\text{Re}(ka) = 0.77$ и $\text{Re}(ka) = 0.83$). Более широкие резонансные пики соответствуют дипольным плазмонам, более узкие – квадрупольным. Установлено существенное увеличение добротностей плазмонных резонансов для трубки по сравнению со сплошным проводом.

Список використаних джерел:

1. N.P. Stognii, N.S. Butenko and N.K. Sakhnenko. Plasmonic properties of selfsimilar cluster of silver nanowires. III International YSF on Applied Physics and Engineering, Pp. 323-326, Lviv, Ukraine, October 17-20, 2017.

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.

трубки имеет один и тот же знак (четные плазмоны) или разные знаки (нечетные плазмоны) (см. вставки рис. 1).

На рис. 1 представлено поперечное сечение рассеяния (ПСР) для провода и трубки. Использованы такие значения параметров: $w_p = 1$, $\gamma = 10^{-3} \cdot w_p$, $b/a = 0.5$. В ПСР провода присутствует дипольный ($\text{Re}(ka) = 0.63$, где $k = \omega/c$ – волновое