

## АНАЛІЗ ПЛАЗМОННИХ РЕЗОНАНСІВ МЕТАЛЕВОЇ НАНОТРУБКИ З ПОДВІЙНОЮ ОБОЛОНКОЮ

Пшонкіна А.С.

Науковий керівник – канд. фіз.-мат. наук, доц. Стогній Н.П.  
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ВМ  
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 702-13-72,

Typical problem of electrodynamics that based on effective analytical-numerical investigation of stationary fields in systems of two-dimensional structure has been solved. Isolated metal nanoshell with double shell were studied. All the possible plasmons of configuration of «nanomatyoshka» (or concentric nanoshell) has been described and classified. Corresponding equations for determining the complex eigenvalues has been obtained. Field distributions in the near-field, their frequency and quality factor (Q) has been considered.

Приставка «нано» (або одна мільярдна частина), а також похідні від неї терміни «наночастини», «наноструктури», «нанотехнології» з'явилися в науковому лексиконі порівняно нещодавно. Однак, багато з матеріалів, які давно використовуються людством, мають властивості, що визначаються їх структурною організацією на нанорівнях, наномасштабах. Оптичні властивості металевих наноструктур пов'язані з їх плазмонним відгуком, який сильно залежить від геометрії структури та навколишнього середовища. Металеводіелектрична комбінація ядро-оболонка представляє собою унікальну геометрію, яка дозволяє систематично налаштовувати плазмонний резонанс наноструктури. Це досягається за рахунок зміни відносних розмірів шарів ядра та оболонки [1–3].

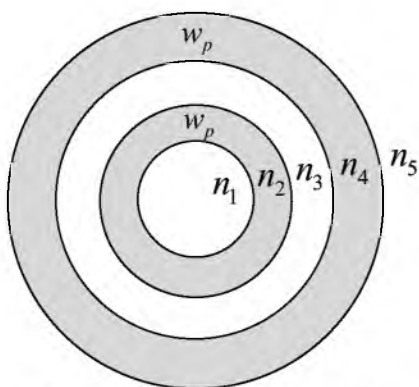


Рисунок 1 – Геометрія вивченої задачі

В даному дослідженні основну увагу приділено вивченню нанотрубки з подвійними концентричними оболонками (шарами). Ми використовуємо чисельно-аналітичний метод, який надає можливість створення ефективних обчислювальних алгоритмів та полегшує інтерпретацію отриманих результатів.

Проаналізовані поверхневі плаزمони нанотрубки з подвійним шаром – «наноматрьошки» (металевого нанопроводу з аксіально симетричними порожнинами). Діелектрична проникність внутрішнього середовища нанотру-

бки описується моделлю Друде  $\epsilon_1 = 1 - \omega_p^2 \cdot (\omega(\omega - i\gamma))^{-1}$ , де  $\omega_p$  – плазменна частота,  $\gamma$  – коефіцієнт поглинання. Зовнішнє середовище – діелектрик з діелектричною проникністю  $\epsilon_5$ , для першого шару –  $\epsilon_3$ , для другого шару –  $\epsilon_4$ . Всі середовища вважаються немагнітними, залежність від часу задається у вигляді  $e^{i\omega t}$ . Вихідними рівняннями є рівняння Максвелла, які доповнені матеріальними рівняннями та граничними умовами. Проаналізовані власні стани поля (плазмонні моди), які існують при відсутності джерел, та коливання, що збуджуються сторонніми полями.

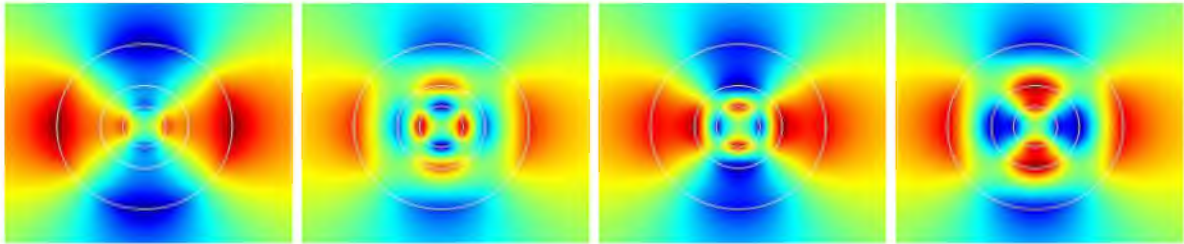


Рисунок 2 – Розподіл ближнього поля поверхневих плазмонів нанотрубки з подвійним шаром («наноматрьошки») ( $s = 2$ )

Основну увагу сконцентровано на вивчення поверхневих плазмонів, що існують в зоні непрозорості металу та тільки в Н-поляризації. Були вивчені та проаналізовані комплексні власні частоти, добротності та розподіли полів поверхневих плазмонів нанотрубки радіуса  $a_1$  з двома концентричними оболонками  $a_2$  та  $a_3$ . Встановлено, що на відміну від суцільного проводу, дисперсійне рівняння для «наноматрьошки» при кожному фіксованому  $s$  ( $s$  – кількість варіацій поля за кутовою змінною) має не одне, а вісім різноманітних розв’язків. Існують плазмони, в яких магнітне поле на внутрішньому та зовнішньому боці кожного шару (оболонки) має один і той же знак (парні плазмони) або різні знаки (непарні плазмони) (рис. 2). Встановлено, що така слоїста геометрія нанотрубки має плазмонний резонанс, який залежить від взаємодії між плазмонами внутрішнього та зовнішніх шарів. Досліджено суттєве збільшення добротностей плазмонних резонансів для нанотрубки з подвійним шаром порівняно з проводом чи нанотрубною.

Список використаних джерел:

1. Стогний, Н.П., & Бутенко, Н.С. (2020). Плазмонные резонансы уединенной металлической нити и трубки. *Радиотехника*, 201, 112-119.
2. Ahmadvand, A., Sinha, R., & Pala, N. (2016). Resonance coupling in plasmonic nanomatryoshka homo- and heterodimers. *AIP Advances*, 6, 065102.
3. Стогній, Н.П., Шпількін, А.Р., & Мартинюк, Є.Д. (2022). Дослідження динаміки поверхневих плазмонів. *The 5-th International scientific and practical conference – Modern research in world science, August 7-9, 2022, Lviv, Ukraine*, 302 – 304.