

ВЛАСТИВОСТІ НАНОСТРУКТУР ІЗ ПЛАЗМОННИМИ РЕЗОНАНСАМИ

Мартинюк Є.Д.

Науковий керівник – к. ф.-м. н., доц. Стогній Н.П.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ВМ,
м. Харків, Україна
тел. +38(057) 702-13-72, e-mail: nadiia.stohnii@nure.ua

The paper considers an urgent scientific problem of effective numerical-analytical study of stationary fields in a metal nanowire. To solve the problem, a rigorous mathematical approach was used, which made it possible to identify all possible configuration plasmons without any restrictions on the transverse size. This approach guaranteed obtaining results with controlled accuracy, ease of interpretation of phenomena, and created a complete physical picture of the non-stationary processes that are observed in such a structure.

Дослідження властивостей наноструктур з плазмонними резонансами обумовлено можливостями їх використання в біосенсорах, нанолазерах, наноантенах [1]. Вивчення динаміки відповідних полів в активних плазмонних системах, які гібридизовані з активною речовиною, властивості якої змінюються за часом, також є актуальною задачею сучасної електродинаміки.

Останнім часом металеві наноструктури привертають до себе значну увагу [2], що зумовлено, насамперед, їх електродинамічними властивостями та можливістю сильної локалізації світла на субхвильовому рівні за рахунок збудження поверхневих і локалізованих плазмонів. Вивчення і дослідження таких наноструктур з плазмонними резонансами ініціюється можливостями їх потенційного використання в багатьох сферах, зокрема, в наноантенних, нанолазерних і сенсорних застосуваннях. Так, наприклад, особливо ефективно використання поверхневого плазмонного резонансу в біосенсорах для аналізу різного виду біохімічних реакцій і складу біологічних середовищ. Висока чутливість таких сенсорів забезпечується резонансною залежністю вихідних величин датчика від параметрів контролюючого середовища.

Якщо нанoelementи перебувають у безпосередній близькості один від одного, то плазмонні резонанси є комбінаціями плазмонних резонансів окремого елемента. Фундаментальні властивості наноструктур, такі як висока чутливість до зовнішнього середовища або поліпшення спрямованості випромінювання, можуть бути скориговані підбором розміру та положення елементів, з яких складаються.

Як правило, плазмонні резонанси знаходять за резонансними максимумами поперечного перерізу розсіювання. Але вказане дослідження не є повним, зокрема, дозволяє досліджувати тільки «яскраві» плазмони,

які ефективно збуджуються плоскою хвилею, залишаючи поза увагою «темні» плазмони. Такий аналіз також не дає можливості кількісної оцінки добротності. Часто застосовують дипольне (квазістатичне) наближення, яке ефективно тільки для моделювання малих частинок, що розміщені на значній відстані одна від одної. Зі збільшенням поперечного розміру частинки, а також зі зменшенням відстані між ними необхідно враховувати вплив вищих плазмонів. Тому актуальним є застосування математично строгих підходів, які дозволяли б досліджувати «усі» плазмони: як «яскраві», так і «темні», як дипольні, так і мультипольні без будь-яких обмежень на поперечний розмір та відстань між елементами. Можливості строго досліджувати вказані властивості плазмонів дає, наприклад, така структура, як система паралельних кругових металевих ниток (нанопроводів).

Поряд із пасивними плазмонними структурами великий інтерес викликають і активні структури: плазмонні перемикачі, динамічно контрольовані антени та нанолазери. Для таких застосувань велике значення має ефективне моделювання у часовій області, оскільки воно дає глибоке розуміння фундаментальних процесів, зокрема, використовується для діагностики зовнішнього середовища.

Зараз комп'ютерне моделювання фізичних процесів знаходить все більш широке застосування для розв'язання різноманітних задач. Фактично воно дозволяє на відповідних моделях детально дослідити різноманітні аспекти поведінки системи, дослідження якої прямим експериментальним спостереженням є ускладненим або неможливим. Так, для аналізу нестационарних електродинамічних процесів, як правило, використовують кінцево-різницеві методи в просторово-часовій області. Але прямі числові методи, наприклад, метод кінцевих різниць у часовій області (finite difference time domain (FDTD) method), вимагає великих обчислювальних ресурсів та має слабкі місця в ході моделювання відкритих об'єктів і криволінійних границь. Таким чином, дана робота є актуальною та направлена на дослідження властивостей активних і пасивних металевих наноструктур за допомогою строгих методів і побудови аналітичних та чисельно-аналітичних розв'язків, що гарантують отримання результатів з контрольованою точністю, а також простоту інтерпретації явищ, що спостерігаються.

Список використаних джерел:

1. Stognii, N.P., & Sakhnenko, N.K. (2013). Plasmon resonances and their quality factors in a finite linear chain of coupled metal wires. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 19(3), 4602207. ieeexplore.ieee.org/document/6425402.
2. Стогний, Н.П., & Бутенко, Н.С. (2020). Плазмонные резонансы уединенной металлической нити и трубки. *Радиотехника*, 201, 1.