

УДК 535.8

Кутовий І.А.<sup>1</sup>, Корольков Р.Ю.<sup>2</sup>, Коротун А.В.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. БКз-311 НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> проф. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>4</sup> с.н.с. Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

## **ЗАГАСАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ У МЕТАМАТЕРІАЛАХ**

Штучні електромагнітні матеріали (метаматеріали) середовища з одночасно від'ємними діелектричною та магнітною проникностями викликають неабиякий інтерес в дослідницькому середовищі. Це пов'язано з можливостями використання вказаних матеріалів для створення гіперлінз та маскуючих покриттів у різних частотних діапазонах, субхвильовій нанолітографії тощо.

Структурними елементами метаматеріалів є тонкі металеві провідники (ENG-матеріали), подвійні розрізані металеві кільця (MNG-матеріали) або сукупність провідників і кілець (DNG-матеріали).

Оскільки структурні елементи метаматеріалів металеві, то в ближньому інфрачервоному оптичному діапазонах спектра суттєвими є втрати енергії, а тому дуже складно одержати штучні матеріали з ідеальними оптичними властивостями.

Проте відомо, що параметри загасання суттєво залежать від геометричних параметрів структурних елементів штучних середовищ, а тому дослідження розмірних залежностей параметрів електричного і магнітного загасання є актуальною задачею.

Частотні залежності діелектричної проникності ENG-матеріалу і магнітної проникності MNG-матеріалу визначаються співвідношеннями

$$\tilde{\epsilon}(\omega) = \tilde{\epsilon}^\infty - \frac{\omega_{pe}^2}{\omega(\omega + i\zeta_e)}; \quad (1)$$

$$\mu(\omega) = 1 - \frac{F\omega^2}{\omega^2 - \omega_{0m}^2 + i\omega\zeta_m}, \quad (2)$$

де частота електронної плазми та параметр загасання

$$\omega_{pe} = \sqrt{\frac{2\pi c}{\tilde{\epsilon}_m R^2 \ln \frac{R}{r_0}}}; \quad \zeta_e = \frac{2\omega_{pe}^2 \tilde{\epsilon}_0}{\pi \sigma} \left( \frac{R}{r_0} \right)^2, \quad (3)$$

а резонансна частота кільцевого резонатора та параметр магнітного загасання

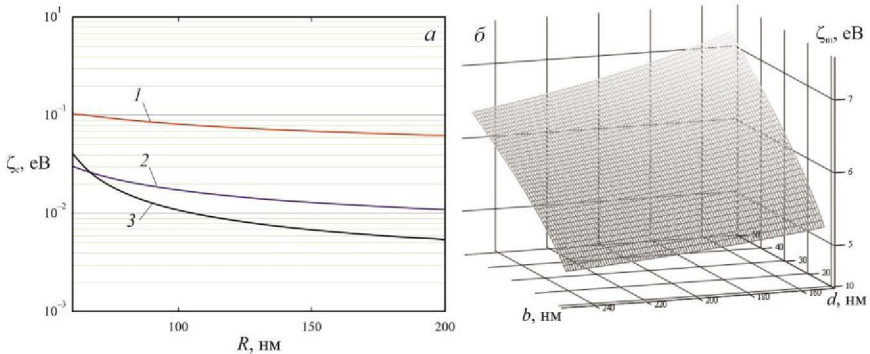
$$\omega_{0m} = \sqrt{\frac{3lc^2}{\pi r^3 \ln \frac{2b}{d}}}; \quad \zeta_m = \frac{2lR_l}{r\mu_0}. \quad (4)$$

У формулах (1) – (4):  $\tilde{\epsilon}_0$  і  $\mu_0$  – електрична і магнітна сталі;  $\tilde{\epsilon}^\infty$  – внесок кристалічної ґратки в діелектричну проникність металу тонких провідників;  $\tilde{\epsilon}_m$  – діелектрична проникність оточуючого середовища;  $c$  – швидкість світла;  $r_0$  – радіус провідника;  $R$  – відстань між осями провідників;  $\sigma$  – питома електропровідність матеріалу провідника;  $l$  – відстань між площинами, в яких розташовано подвійні кільця;  $d$  – товщина кільця;  $b$  –

радіальний розмір кілець та відстань між ними;  $r$  – радіус внутрішнього кільця;  $R_l$  – погонний опір матеріалу кільця,  $F = \pi(r/l)^2$ .

Результати розрахунків параметрів загасання для ENG- і MNG-матеріалів із золотими провідниками і подвійними кільцями в тефлоні ( $\tilde{n}_m = 2,3$ ) наведені на рис. 1.

Встановлено, що параметр загасання для ENG-матеріалів зменшується зі збільшенням відстані між провідниками, а за однакової відстані цей параметр менший у випадку провідників із більшим радіусом. В свою чергу, для MNG-матеріалів параметр загасання зменшується зі збільшенням радіального розміру кілець і зменшенні їх товщини.



$a$  – ENG-матеріал ( $1 - r_0 = 10$  нм;  $2 - r_0 = 30$  нм;  $3 - r_0 = 50$  нм);

$b$  – MNG-матеріал ( $l = 100$  нм;  $r = 50$  нм).

Рисунок 1 – Розмірні залежності параметра загасання в метаматеріалах різного типу