

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОШИРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНІВ У ЧОТИРЬОХКАНАЛЬНОМУ РОЗГАЛУЖУВАЧІ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЛАВ

Юрченко В. М., Чубукін О.С.

e-mail: vadym.yurchenko@nure.ua, e-mail: oleksandr.chubukin@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. Фізики
Харків, Україна

The excitation and propagation of surface plasmonic polaritons (SPs) are important topics in solid-state physics and optics due to their significant potential in applications such as sensing, photonics, and nanotechnology. In this paper, we investigate the propagation of PPPs in a four-channel splitter using numerical simulations in MATLAB. The results demonstrate the dependence of the PPP propagation distance on the PPP wavelength and on the PPP frequency, which provides insight into the efficiency of multichannel plasma structures.

Розповсюдження поверхневих плазмон поляритонів (ППП) у чотирьохканальному розгалужувачі відбувається в межах системи "діелектрик-метал-діелектрик" (DMD) (рис.1) [1,3].

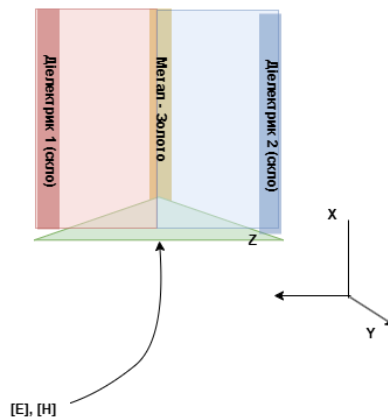


Рис. 1 Схематичне зображення структури діелектрик-метал-діелектрик.

Рівняння Максвелла, що описують розповсюдження ППП для вибраної фізичної моделі будуть виглядати наступним чином:

$$\text{rot } \vec{H}(\vec{r}, t) = \frac{\partial \vec{D}(\vec{r}, t)}{\partial t} + \vec{j}(\vec{r}, t)$$

$$\text{rot } \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r}, t)}{\partial t}$$

$$\text{div } \vec{D}(\vec{r}, t) = \rho(\vec{r}, t)$$

де $\rho(\vec{r}, t)$ – густина електричного заряду у точці \vec{r} та момент часу t .

$$\text{div } \vec{B}(\vec{r}, t) = 0$$

Для моделювання процесу поширення ППП у чотирьохканальному розгалужувачі використовувалась чотирьохканальна структура [2] розмірами 20 мкм x 10 мкм, з товщиною та висотою каналу 400 нм., та знаходилась на поверхні на золотій плівці товщиною 50 нм. Відстань між каналами складала 2 мкм (рис. 2).

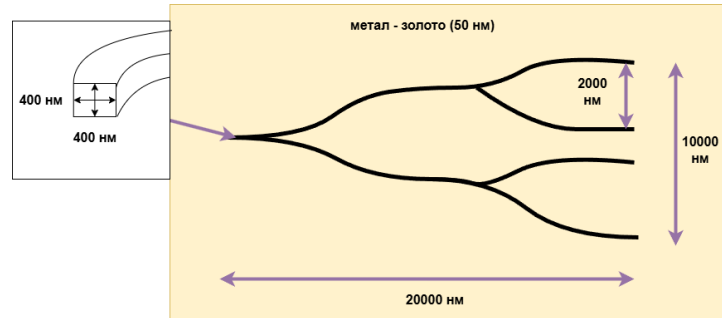


Рис. 2. Структурна схема чотирьохканального розгалужувача

Характеристика розповсюдження ППП визначалась за допомогою рівняння дисперсії:

$$k_{SPP} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \frac{i\sigma_m}{\varepsilon_0 \omega}}}$$

де k_{SPP} - хвильове число ППП, яке пов'язане з довжиною хвилі ППП;
 ω - кутова частота електромагнітної хвилі, яка визначає енергію коливань;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - діелектричні проникності верхнього та нижнього діелектриків;

σ_m - динамічна провідність металевого прошарку;

ε_0 - діелектричні проникності вакуума

Рівняння виражає хвильове число k_{SPP} , яке визначає, як поширюється хвиля ППП уздовж межі між двома діелектриками.

Для знаходження частоти ППП використовуємо наступну формулу:

$$\omega_{SPP} = \frac{\lambda}{c}$$

Як бачимо, частота ППП прямопропорційно залежить від довжини хвилі та оберненопропорційно від швидкості світла у вакуумі.

Розповсюдження ППП у системі з металевим прошарком описується рівнянням:

$$\frac{\varepsilon_1}{\sqrt{k_{SPP}^2 - \frac{\omega^2}{c^2} \varepsilon_1}} + \frac{\varepsilon_2}{\sqrt{k_{SPP}^2 - \frac{\omega^2}{c^2} \varepsilon_2}} = -\frac{i\sigma(Q, \omega)}{\varepsilon_0 \omega}$$

Ліва частина рівняння описує вплив діелектриків верхнього і нижнього від металевого прошарку на поширення хвиль. Права частина описує вплив металевого шару на поширення хвиль[1].

Використання чотирьохканального розгалужувача в даному експерименті дозволяє отримати більш повну картину процесу поширення хвиль і робить результати дослідження актуальними для практичного застосування в сучасних оптичних і телекомунікаційних системах.

На вхід розгалужувача подається лазерний імпульс із довжиною хвилі 400-700 нм та тривалістю 50 фс. В якості математичної моделі ППП використано формулу дисперсійного рівняння розповсюдження ППП у системі з металевим прошарком. Діелектрична проникність верхнього діелектрика дорівнює 2.25, а діелектрична проникність нижнього діелектрика дорівнює 2.10. Динамічна провідність металу σ дорівнює 1.

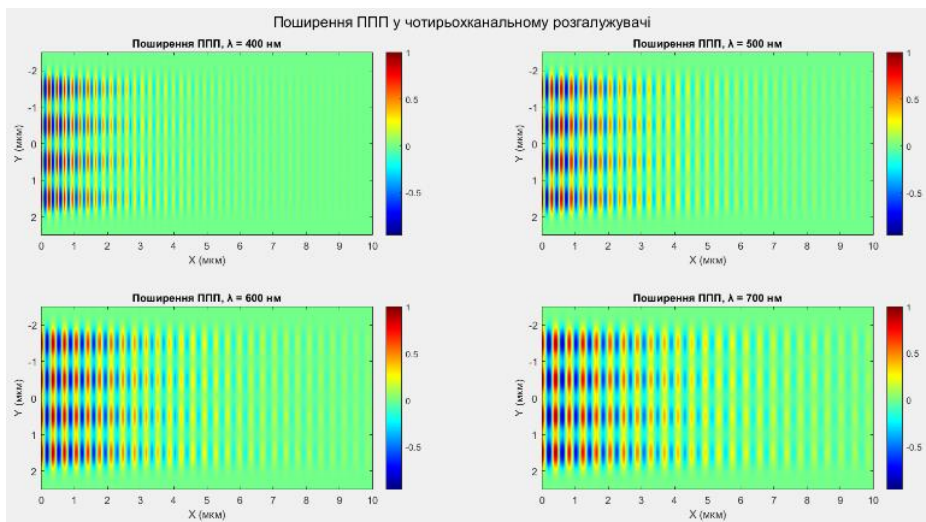


Рис. 4 Поширення ППП. Довжини хвилі дорівнюють 400=700 нм

При збільшенні довжини хвилі частота ППП стають рідшими, тобто хвильовий фронт має більший період. Хвилі різної довжини поширюються з різною швидкістю або мають різні режими взаємодії з середовищем. Колірні шкали на графіках показують амплітуду сигналу. Якщо амплітуда змінюється вздовж осі X, можна зробити висновок про можливі втрати або збереження енергії хвилі в процесі поширення.

Список використаних джерел:

1. Stefan A. Maier Plasmonics: Fundamentals And Applications. Springer 2007. 223 p

2. Невінський Д. В. Дослідження і розроблення нанорозмірних структур на поверхневих плазмонах для пристроїв інфокомунікаційних систем: дис. канд. техн. наук: 05.12.13. Львів, 2017. 173 с.

3. Dispersion of Surface Plasmon Polariton in Thin Metal Embedded in Dielectric. URL: <https://surl.li/seczwh>