

УДК 563.5

## Принцип визначення параметрів плоско паралельних плівкових структур за допомогою методу обвідних резонансів Фабрі-Перо в спектрах багатопроменевої інтерференції плоских хвиль

Каркульовська М. С., к.ф.-м.н., асистент каф. ЗФ

Національний університет «Львівська політехніка»  
(вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна)

Робота присвячена розробці фізичних принципів визначення параметрів плоскопаралельних плівкових структур, на основі узагальнення закономірностей формування обвідних амплітудно-фазових спектрів багатопроменевої інтерференції Фабрі-Перо електромагнітних та акустичних хвиль.

Для структур, котрі утворені двома плоскопаралельними між собою межами поділів середовище-шар (індекс 01) та шар-підкладка (індекс 12). Застосувавши подання комплексного числа амплітудного коефіцієнту Френеля як  $\tilde{r}_{12,23} = \exp(i\phi_{12,23})$  та прийнявши до уваги формули пониження ступеня, енергетичний коефіцієнт відбивання зручно виразити через обвідні функції  $R_{\max, \min}$  як [1]:

$$R_{M,m} = \left( \frac{\sigma_{01} \pm \Theta_1}{1 \pm \sigma_{01}\Theta_1} \right)^2 \quad \text{та} \quad T_{M,m} = \frac{n_2 \cos \beta_2}{n_0 \cos \alpha} \frac{T_{01}T_{12}\Omega_1}{(1 \mp \sigma_{01}\Theta_1)^2} \quad (1)$$

а вираз для спектрів фази відбитої хвилі має вигляд

$$\phi_{M,m} \cong 2\pi \pm \frac{\sigma_{01}(1 - \sigma_{01}\Theta_1) \sin \phi_{01} + \sigma_{12}(1 - \sigma_{01}^2)\Omega_1}{\sigma_{01}(1 + \Theta_1^2) \cos \phi_{01}}, \quad (2)$$

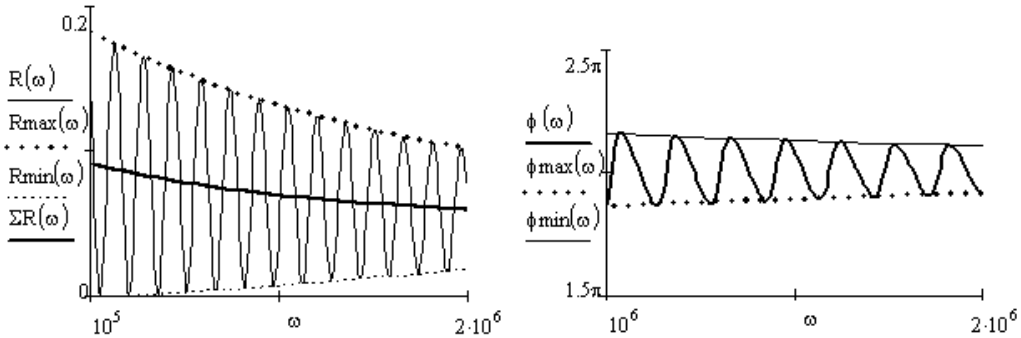
котрий при умові  $\phi_{01,12} \cong m\pi$  спрощується до вигляду  $\phi_{M,m} \approx 2\pi \pm \frac{(1 - \sigma_{01}^2)\Theta_1}{\sigma_{01}(1 + \Theta_1^2)}$ , де  $\Theta_1 = \sigma_{12}\Omega_1$ . В довільній геометрії та поляризації хвилі, параметри екстремумів  $(R, T)_{M,m}$  та структури  $\sigma_{01}$ ,  $\sigma_{12}$ ,  $\Omega_1$  зв'язані між собою такими співвідношеннями  $\sigma_{01} = \Psi \pm \sqrt{1 + \Psi^2}$ ,  $\Theta_1 = \frac{\sigma_{12} - \sqrt{R_M}}{\sigma_{12}\sqrt{R_M - 1}}$  і  $\sigma_{01}\Theta_1 = \frac{\sqrt{T_M} - \sqrt{T_m}}{\sqrt{T_M} + \sqrt{T_m}}$ , в котрих  $\Psi = \frac{1 + \sqrt{R_MR_m}}{\sqrt{R_M} + \sqrt{R_m}}$ .

Аналіз одержаних результатів дав можливість зробити такі найбільш важливі висновки:

1. Подані функції (1) є обвідними амплітудних спектрів Фабрі-Перо при нормальному та похилому проходженні плоскої хвилі меж поділів (рис. 1, а) та (2) обвідними фазових спектрів (рис. 1, б). Причому, значення  $R_{\max, \min}$  і  $\phi_{\max, \min}$  не обов'язково повинні співпадати з вершинами екстремумів, оскільки за своєю суттю вони відповідають точкам дотику обвідних із контурами спектрів.

2. Для довільної геометрії досліду відношення  $\frac{R_{\max} - R}{R - R_{\min}}$  змінюється від 0 до  $+\infty$ , проходячи при цьому через одиничне значення на частотах  $\omega_\Sigma$  з обох сторін відносно максимуму інтерференції. На частотах  $\omega_\Sigma$  значення енергетичного відбивання дорівнює  $\Sigma_R = \frac{1}{2}(R_{\max} + R_{\min})$ . Аналогічна умова реалізується і в похилому спектрі. для кутів падіння  $\theta_\Sigma$ , з обох сторін відносно максимуму інтерференції (рис. 1). Фазова ширина контуру відбивання на рівні  $\Sigma_R$  дорівнює  $H_{\Sigma\delta} = \text{Re } \delta|_{\Sigma_2} - \text{Re } \delta|_{\Sigma_1} \cong 2(\pi - \text{Re } \delta|_{\Sigma})$ . Тому експериментально вимірювана величина  $H_{\Sigma\delta}$  дає можливість визначити  $\text{Re } \delta|_{\Sigma}$ .

3. Спектри інтерференції Фабрі-Перо володіють  $2\pi$ -періодичністю. Тому, експериментально вимірюваним параметром також є площа під контуром максимуму відбивання в проміжку між двома сусідніми мінімумами, який знизу обмежений обвідною мінімумів, яка виражається як інтеграл [2]  $S_{\max} = \int R(\xi)d\xi - \int R_{\min}(\xi)d\xi$ , де  $2\xi = \text{Re } \delta$ . Цей інтеграл табличний і при його обчисленні доцільно прийняти до уваги те, що  $R_{\min}$  та  $\phi_{12,23}$  не залежать від фазової товщини шару  $\text{Re } \delta$ .



**Рис. 1** Обвідні резонансів Фабрі-Перо для а) амплітудних спектрів; б) фазових спектрів.

1. Кособуцький П.С., Каркульовська М.С., Сегеда М.С. Фізичні основи моделювання хвильових електромагнітних процесів в оптиці. — Львів: Вид-во НУ «ЛП», 2003.
2. Кособуцький П.С., Каркульовська М.С., Кособуцький Я.П. О фазово-амплитудной корреляции в спектрах отражения электромагнитных волн интерферометрами Фабри-Перо. // Оптика и спектроскопия, 2003. — С. 494-496.