

ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЬКОСМУГОВОГО ОПТИЧНОГО ФІЛЬТРА

*С. Мягкота, д. ф.-м. н., Я. Білий, к. ф.-м. н., О. Кушнір, к. ф.-м. н.,
Р. Гуцак, к. т. н., О. Вовк, к. т. н.
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Вузькосмугові оптичні фільтри мають широке практичне застосування в сучасному оптичному приладобудуванні. Тому розробка нових ефективних методів їх проектування завжди залишається актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі способи проектування вузькосмугових оптичних фільтрів [1–4] мають свої переваги з точки зору отримання фільтрів з потрібними оптичними параметрами. Однак вони вимагають використання різних матеріалів із заданими показниками заломлення [1; 2] або порівняно складних розрахунків фазових товщин шарів фільтра з допомогою спеціального програмного забезпечення [3; 4].

Постановка завдання. Метою дослідження є спрощення умов просвітлення багат шарової інтерференційної структури [5] і розробка на їх основі ефективного й одночасно простого методу проектування вузькосмугового оптичного фільтра з потрібними характеристиками.

Виклад основного матеріалу. У роботі [3] був запропонований метод проектування вузькосмугового фільтра, отриманого на основі структури типу інтерференційного дзеркала. Така структура складається з послідовності чвертьхвильових шарів із великим і малим показниками заломлення, які чергуються між собою. З допомогою знайдених виразів визначали фазові товщини двох довільних шарів, які забезпечували просвітлення для заданої довжини хвилі і вузьку смугу пропускання фільтра. Недоліком попереднього методу була математична складність самих виразів для фазових товщин з використанням матричного підходу. Вирази для фазових товщин, які використовувались, являють собою загальні умови просвітлення багат шарової структури з довільними фазовими товщинами всіх шарів. Для структури типу інтерференційного дзеркала з показниками заломлення

$$n_0 - n_H - n_L - \dots - n_H - n_L - n_{k+1}, \quad (1)$$

в якій всі шари є чвертьхвильові, крім двох довільних з номерами s і m , просвітлення забезпечується визначенням фазових товщин δ_s і δ_m цих двох шарів з допомогою спрощених виразів:

$$\tan \delta_s^\pm = \pm \sqrt{\frac{-n_s^2 \Delta \Delta_m}{\Delta_s \Delta_{s,m}}}, \quad (2)$$

$$\tan \delta_m^\pm = \pm \sqrt{\frac{-n_m^2 \Delta \Delta_s}{\Delta_m \Delta_{s,m}}}, \quad (3)$$

де

$$\Delta = n_0 n_H \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{m-2s+2 \operatorname{trunc}(s/2)}{2}\right)}{n_L} \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{s-1}{2}\right) + 2 \operatorname{trunc}\left(\frac{k-2 \operatorname{trunc}(m/2)}{2}\right)}{n_L} - n_{k+1} n_H \frac{2 \operatorname{trunc}(s/2) + 2 \operatorname{trunc}\left(\frac{1+k-2m+2 \operatorname{trunc}(m/2)}{2}\right)}{n_L} \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{m-1-2 \operatorname{trunc}(s/2)}{2}\right)}{n_L}, \quad (4)$$

$$\Delta_s = n_0 n_{k+1} n_H \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{1+k-2m+2 \operatorname{trunc}(m/2)}{2}\right)}{n_L} \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{m-1}{2}\right)}{n_L} - n_H \frac{2 \operatorname{trunc}(m/2)}{n_L} \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{k-2 \operatorname{trunc}(m/2)}{2}\right)}{n_L}, \quad (5)$$

$$\Delta_m = n_0 n_{k+1} n_H \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{1+k-2s+2 \operatorname{trunc}(s/2)}{2}\right)}{n_L} \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{s-1}{2}\right)}{n_L} - n_H \frac{2 \operatorname{trunc}(s/2)}{n_L} \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{k-2 \operatorname{trunc}(s/2)}{2}\right)}{n_L}, \quad (6)$$

$$\Delta_{s,m} = n_0 n_L \frac{2 \operatorname{trunc}(k/2)}{n_L} - n_{k+1} n_H \frac{2 \operatorname{trunc}\left(\frac{1+k}{2}\right)}{n_L}, \quad (7)$$

функція $\operatorname{trunc}(x)$ – це є ціла частина x ; k – кількість шарів; n_0 , n_{k+1} , n_H , n_L – це відповідно показники заломлення зовнішнього середовища, підкладки, шарів з високим і низьким показниками заломлення; $n_{s,m} = n_L$ для парних номерів s , m і $n_{s,m} = n_H$ для непарних номерів s , m .

Для прикладу розглянемо структуру (1), яка складається з 14 шарів ($k=14$), в якій розраховуються фазові товщини третього і сьомого шарів ($s=3$, $m=7$). Для такої структури $n_s = n_m = n_H$, а вирази (4)-(7) можна спростити до такого вигляду:

$$\Delta = n_0 n_H^2 n_L^{10} - n_{k+1} n_H^8 n_L^4, \quad (8)$$

$$\Delta_s = n_0 n_{k+1} n_H^6 n_L^6 - n_H^6 n_L^8, \quad (9)$$

$$\Delta_m = n_0 n_{k+1} n_H^{10} n_L^2 - n_H^2 n_L^{12}, \quad (10)$$

$$\Delta_{s,m} = n_0 n_L^{14} - n_{k+1} n_H^{14}. \quad (11)$$

На основі отриманих спрощених виразів (2), (3), (8)-(11) розраховано фазові товщини $\delta_3 = 5,465$ рад і $\delta_7 = 6,274$ рад шарів з номерами $s=3$ та $m=7$, при яких структура (1) з показниками заломлення $n_0 = n_{k+1} = 1$, $n_H = 4,3$, $n_L = 1,37$ стає вузькосмуговим фільтром (див. рис.).

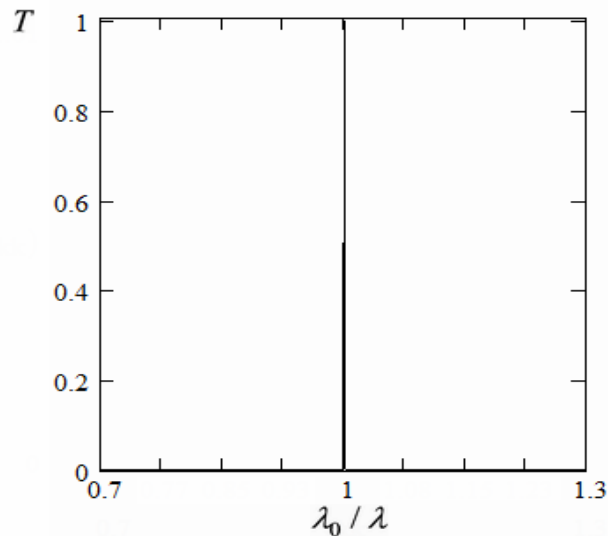


Рис. Енергетичний коефіцієнт пропускання T вузькосмугового фільтра:
 $1 | \text{HL } 3,479\text{H LHL } 3,994\text{H (LH)}^3\text{L} | 1, n_H = 4,3, n_L = 1,37.$

Висновки. Розроблено спрощений метод проектування вузькосмугового оптичного фільтра з використанням двох різних матеріалів. Запропонований підхід базується на розрахунку фазових товщин двох довільних шарів структури (1) без використання спеціального програмного забезпечення.

Бібліографічний список

1. Thelen A. Design of optical interference coatings / A. Thelen. – New York : McGraw–Hill, 1989. – 232 p.
2. Thelen A. Equivalent Layers in Multilayer Filters / A. Thelen // J. Opt. Soc. Am. – 1966. – Vol. 56. – P. 1533-1538.
3. Кушнір О. П. Умови екстремального коефіцієнта відбивання багат шарових структур / О. П. Кушнір // Журнал фізичних досліджень. – 2010. – Т. 14. – С. 4401.
4. Пат. на корисну модель № 46322 Україна, G02B1/00. Спосіб виготовлення оптичного фільтра із вузькою смугою пропускання / Кушнір О. П. – №u200908649 ; заявл. 17.08.2009 ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23.
5. Kushnir O. P. Application of spectral envelope functions of multilayer structures for analytical determination of antireflection conditions / O. P. Kushnir // Ukrainian Journal of Physical Optics. – 2009. – Vol. 10, № 2. – P. 82-88.

Мягкота С., Білий Я., Кушнір О., Гушак Р., Вовк О. Ефективний метод проектування вузькосмугового оптичного фільтра

Запропоновано ефективний метод проектування вузькосмугового оптичного фільтра з використанням двох різних матеріалів. Основною перевагою цього методу є спрощений розрахунок фазових товщин двох шарів, які забезпечують просвітлення фільтра в області пропускання.

Ключові слова: багат шарова структура, вузькосмуговий оптичний фільтр, умови просвітлення.

Mjagkota S., Biliy Y., Kushnir O., Gushchak R., Vovk O. Effective designing of the narrow bandpass optical filter

The effective designing of the narrow bandpass optical filter with two materials in the core is proposed. The simplified calculation of phase thickness of two layers which provide the zero reflectance of the filter in the range of light transmission is the basic advantage of this method.

Key words: multilayer structure, narrow bandpass optical filter, antireflection conditions.

Мягкота С., Билый Я., Кушнир О., Гушак Р., Вовк О. Эффективный метод проектирования узкополосного оптического фильтра

Предложен эффективный метод проектирования узкополосного оптического фильтра с использованием двух различных материалов. Основным преимуществом данного метода является упрощенный расчет фазовых толщин двух слоев, которые обеспечивают просветление фильтра в области пропускания.

Ключевые слова: многослойная структура, узкополосной оптический фильтр, условия просветления.