

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ НЕОДНОРІДНОГО ОПТИЧНОГО ПОКРИТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАДІЄНТНИХ МЕТОДІВ

Пецько Василь Іванович

доцент факультету інформаційних технологій
ДВНЗ “Ужгородський Національний Університет”, Україна

Левчук Олександр Миколайович

доцент факультету інформаційних технологій
ДВНЗ “Ужгородський Національний Університет”, Україна

Шапочка Ігор Валерійович

доцент факультету інформаційних технологій
ДВНЗ “Ужгородський Національний Університет”, Україна

Використання різномірних плівок для створення оптичних покриттів та інтегрально-оптичних компонентів є актуальною задачею в галузі оптичної технології та інтегральної оптики, коли йдеться про управління світловим випромінюванням. До цього часу було розроблено обмежену кількість теоретичних основ та практичних методів для розрахунку інтерференційних систем з неоднорідними багатошаровими структурами, які дозволяють отримати потрібні оптичні характеристики. Використовуючи методи з використанням градієнтів [1], можна визначити оптимальні параметри різних шарів плівок з різними характеристиками неоднорідності для підкладок та оцінити їх ефективність в різних спектральних діапазонах.

Розглянемо задачу апроксимації неоднорідної плівки ступінчастою структурою шляхом розділення всієї товщини неоднорідної плівки на m рівних по товщині зон-підшарів, показники заломлення в яких, у залежності від типу розподілу, змінюються за законами, наведеними в таблиці 1 [2]. У таблиці введені такі позначення: n_1 – значення показника заломлення першої зони, z – значення, на яке змінюється показник заломлення від першої зони до межі останньої зони і зовнішнього середовища, $j = 1..m$ – номер зони-підшару. При $z < 0$ показник заломлення неоднорідної плівки зменшується, а при $z > 0$ – зростає із збільшенням товщини плівки. Величини n_1 , d , z являються параметрами неоднорідної структури.

Таблиця 1

Значення показника заломлення j -ої зони-підшару

Розподіл	Значення показника заломлення n_j
Лінійний	$n_1 + \frac{z}{(m-1)} \cdot (j-1)$
Квадратичний	$n_1 + \frac{z}{(m-1)^2} \cdot (j-1)^2$
Логарифмічний	$n_1 + \frac{z}{\ln(m)} \cdot \ln(j)$
Експоненціальний	$n_1 + \frac{z}{e^{m-1} - 1} \cdot (e^{j-1} - 1)$

Характеристична матриця неоднорідної плівки буде визначатися

$$M^{\text{неодн.}}(n_1, d, \lambda) = M_m\left(n_m, \frac{d}{m}, \lambda\right) \cdot M_{m-1}\left(n_{m-1}, \frac{d}{m}, \lambda\right) \cdots M_1\left(n_1, \frac{d}{m}, \lambda\right), \quad (1)$$

де M_j – характеристична матриця j -ої зони-підшару; d – геометрична товщина всієї неоднорідної плівки; λ – довжина хвилі.

Коефіцієнт пропускання T інтерференційної системи підкладинка–неоднорідна плівка при заданих значеннях показника заломлення n_1 , геометричної товщини d і довжини хвилі λ виражається через елементи характеристичної матриці (1) і має вигляд:

$$T(n_1, d, \lambda) = 1 - \left[\frac{n_0 (M_{11}^{\text{неодн.}}(n_1, d, \lambda) + n_s \cdot M_{12}^{\text{неодн.}}(n_1, d, \lambda)) - (n_s \cdot M_{22}^{\text{неодн.}}(n_1, d, \lambda) + M_{21}^{\text{неодн.}}(n_1, d, \lambda))}{n_0 (M_{11}^{\text{неодн.}}(n_1, d, \lambda) + n_s \cdot M_{12}^{\text{неодн.}}(n_1, d, \lambda)) + (n_s \cdot M_{22}^{\text{неодн.}}(n_1, d, \lambda) + M_{21}^{\text{неодн.}}(n_1, d, \lambda))} \right]^2, \quad (2)$$

де n_0 , n_s – показники заломлення зовнішнього середовища та підкладинки відповідно, $M_{11}^{\text{неодн.}}$, $M_{12}^{\text{неодн.}}$, $M_{21}^{\text{неодн.}}$, $M_{22}^{\text{неодн.}}$ – елементи характеристичної матриці неоднорідної плівки $M^{\text{неодн.}}$.

Цільова функція буде представлятись у вигляді:

$$\max_{n_1, d} F(n_1, z, d) = \left(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L T^2(n_1, d, \lambda_{(i)}) \right)^{1/2}, \quad (3)$$

де L – число точок сітки спектрального інтервалу від λ_1 до λ_2 , яке визначається за формулою (1.31), $\lambda_{(i)}$ – значення довжин хвиль на даній сітці.

Розв'язавши задачу (1-3) були отримані результати, які зображені на рисунку 2.

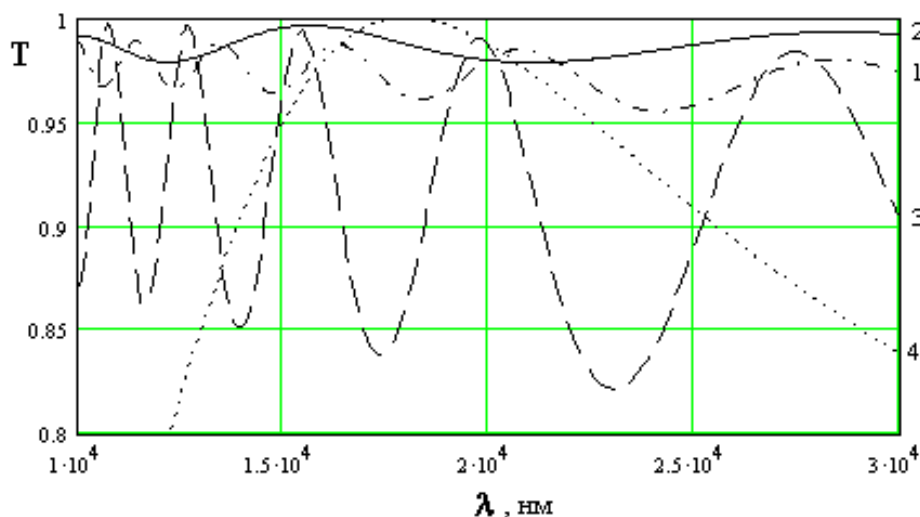


Рис. 1. Спектральні характеристики неоднорідної плівки на підкладинці з показником заломлення $n_s=4.0$: 1 – при лінійному розподілі з параметрами ($n_1=3.650$, $d=1500.0$ нм, $z=-2.3$); 2 – при квадратичному розподілі з параметрами ($n_1=3.750$, $d=614.4$ нм, $z=-2.4$); 3 – при логарифмічному розподілі з параметрами ($n_1=2.850$, $d=1447.9$ нм, $z=-1.5$); 4 – при експоненціальному розподілі з параметрами ($n_1=3.487$, $d=234.3$ нм, $z=-1.5$).

Проведено обчислювальний експеримент для визначення найбільш ефективних методів оптимізації неоднорідних покриттів [3]. Розглянуто такі градієнтні методи, як метод Флетчера-Рівса, метод Поллака-Рібб'єра та метод найшвидшого спуску [4]. Для кожного із цих методів визначались кількість точок, які досягнули максимум, та середня витрата машинного часу на пошук. В якості початкових значень вибирались 256 точок із різних підобластей. Найбільш ефективним із запропонованих виявився метод Флетчера-Рівса.

Список використаних джерел:

1. Stetsyuk P. I., Mitsa A. V. Parameter Optimization Problems for Multilayer Optical Coatings. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2005. 41. P. 564-571.
2. Пецко В. І., Міца О. В. Моделювання впливу неоднорідностей на спектральні характеристики вузькосмугових оптичних фільтрів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. 4/5(70). С. 15- 20.
3. Міца О.В., Стецюк П.І., Левчук О.М., Пецко В.І., Повхан І.Ф. Про пришвидшення оптимізаційних методів для задачі синтезу багат шарових оптичних покриттів. *Проблеми управління та інформатики*. 6. 2021. С. 13-16.
4. Mitsa O., Petsko V., Holovács J., Levchuk O. Optimization of the parameters of the layer system on the example of the optical structure. The 1th IEEE International Conference on Data Stream Mining & Processing. 2016. Lviv, Ukraine. P. 96-99.