

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ БАГАТОВИМІРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ОДНОРІДНИХ ТА НЕОДНОРІДНИХ СТРУКТУР

МІЦА ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

Аспірант, Ужгородський національний університет
м. Ужгород, вул. Бестужева, 4/10
e-mail: mitsa@univ.uzhgorod.ua

АНОТАЦІЯ

Произведен анализ эффективности различных методов многомерного поиска при определении оптимальных параметров однородных и неоднородных структур в спектральном диапазоне 1000–3000 нм для подложки с показателем преломления $n_s=4.0$. Исследованы возможности просветления данной подложки однородными и неоднородными пленками и дана их сравнительная характеристика.

Проведено аналіз ефективності різних методів багатовимірного пошуку при визначенні оптимальних параметрів однорідних та неоднорідних структур в спектральному діапазоні 1000–3000 нм для підкладки з показником заломлення $n_s=4.0$. Досліджено можливості просвітлення даної підкладки однорідними та неоднорідними плівками та наведено їх порівняльну характеристику.

The analysis of efficiency of different multidimensional search methods when defining optimal parameters of homogeneous and inhomogeneous structures over the spectral range of 1000-3000 nm for the substrate with the refractive index $n_s=4.0$ has been performed. The possibilities of antireflecting the given substrate by homogeneous and inhomogeneous films have been studied and their comparison characteristics has been given.

ВСТУП

В останні роки стали приділяти увагу задачі синтезу і проблемі оптимізації характеристик короткоперіодних структур з однорідним і неоднорідним профілями показника заломлення для просвітлення оптичних елементів в широкому спектральному інтервалі [1-2].

Метою даної роботи є оптимізація спектральних характеристик короткоперіодних структур в спектральному інтервалі 1000-3000 нм для підкладки з показником заломлення $n_s = 4.0$ та визначення найбільш ефективних методів для розв'язання даної задачі. Серед однорідних структур розглядалися одно-, дво-, три-, чотиришарові структури. Із числа неоднорідних плівок з різним профілем показника заломлення $n(z)$ найбільш ефективною виявилася плівка з квадратичним розподілом показника заломлення по товщині [3-5]. Для знаходження спектральних характеристик використовувався матричний метод Абеле [6-8].

1. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ.

Характеристичну матрицю і коефіцієнт пропускання для однорідних структур будемо виражати згідно [1].

Неоднорідну плівку з показником заломлення $n(x)$ апроксимуємо ступінчатою структурою шляхом розділення плівки на m рівних по товщині зон, показники заломлення в яких змінюються за вказаним законом. При квадратичному розподілі, показник заломлення j -ої зони буде рівним $n_j = n_1 - \frac{z}{(m-1)^2} \cdot (j-1)^2$, де n_1 – значення показника заломлення першої зони, z – значення, на яке зміниться показник заломлення від першої зони до границі останньої зони і зовнішнього середовища, $j=1..m$ – номер зони. Будемо дотримуватись теоретичних основ для неоднорідних плівок, наведених в [3-5].

Цільова функція для однорідних структур представляється у вигляді –

$$\max_{\bar{n}, \bar{d}} F(\bar{n}, \bar{d}) = \left(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L T^2(\bar{n}, \bar{d}, \lambda_i) \right)^{1/2},$$

де $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_k)$ – вектор значень показників заломлення;

$\bar{d} = (d_1, d_2, \dots, d_k)$ – вектор значень геометричної товщини;

k – кількість шарів.

Для неоднорідних структур цільовою функцією вибираємо

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

Значення L – це число точок сітки спектрального інтервалу від λ_{\min} до λ_{\max} , λ_i – точки сітки, які рівномірно розподілені на інтервалі $(\lambda_{\min}, \lambda_{\max})$. При рівномірному поділі даного інтервалу з кроком $\Delta\lambda$

$$L = \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{\Delta\lambda} + 1.$$

При дослідженні вибирались значення $1.35 \leq n_j \leq 5.0$, $50 \text{ нм} \leq d_j \leq 750 \text{ нм}$ ($j = \overline{1, k}$), $\Delta\lambda = 5 \text{ нм}$, $m=30$, $\lambda_{\min} = 1000 \text{ нм}$, $\lambda_{\max} = 3000 \text{ нм}$.

2. ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ.

Для знаходження оптимальних параметрів випробувано різні методи багатовимірного пошуку екстремумів нелінійних функцій без обмежень [3-5, 9]. Серед них методи конфігурацій (Хука-Дживса), Розенброка, найскорішого спуску, спряжених градієнтів (Флетчера-Рівса, Поллака-Рібб'єра), змінної метрики (Девідона-Флетчера-Пауелла, Гольдфарба, Фіакко-Мак-Кормика, Грінстадта).

Критерієм ефективності методів вибрано середню витрату машинного часу на пошук та область можливих початкових значень, які дозволяють досягнути глобального максимуму. Критерієм припинення ітерацій для всіх методів була умова:

$$\frac{|F(X^{(k+2)}) - F(X^{(k)})|}{F(X^{(k+2)})} < \varepsilon,$$

де F – досліджуваний функціонал, а $X^{(k)}$ – отримане значення на k -ій ітерації. Значення ε в даній задачі вибиралось рівним 10^{-7} .

Програмне забезпечення написане мовою програмування Pascal. Розрахунки проводились на комп'ютері з процесором AMD Athlon 1.2 ГГц 128 МБайт ОЗП.

3. РЕЗУЛЬТАТИ

Для одношарової структури в розглядуваному інтервалі оптимальними виявились значення показника заломлення $n_1 = 2.0$ і геометричної товщини $d_1 = 607.0$ нм (значення функціоналу в них $F = 0.9079705$). Для двошарової структури оптимальними були параметри – $n_1 = 2.617$, $d_1 = 151.5$ нм, $n_2 = 1.528$, $d_2 = 259.3$ нм ($F = 0.9794713$) (рис.1, крива 2). Для трьохшарової структури – $n_1 = 3.186$, $d_1 = 121.1$ нм, $n_2 = 2.093$, $d_2 = 181.5$ нм, $n_3 = 1.350$, $d_3 = 288.0$ нм ($F = 0.9956228$) (рис.1, крива 3). Для чотиришарової структури – $n_1 = 4.289$, $d_1 = 180.3$ нм, $n_2 = 3.374$, $d_2 = 112.7$ нм, $n_3 = 2.140$, $d_3 = 176.7$ нм, $n_4 = 1.350$, $d_4 = 286.8$ нм ($F = 0.9965713$) (рис.1, крива 4). Неоднорідна структура задавалась оптимальними параметрами – $n_1 = 3.92$, $d = 607.0$ нм, $z = 2.57$ ($F = 0.9870096$), де z – значення, на яке зміниться показник заломлення від межі плівка-підкладка до межі плівка-повітря (рис.1, крива 1) [3, 5].

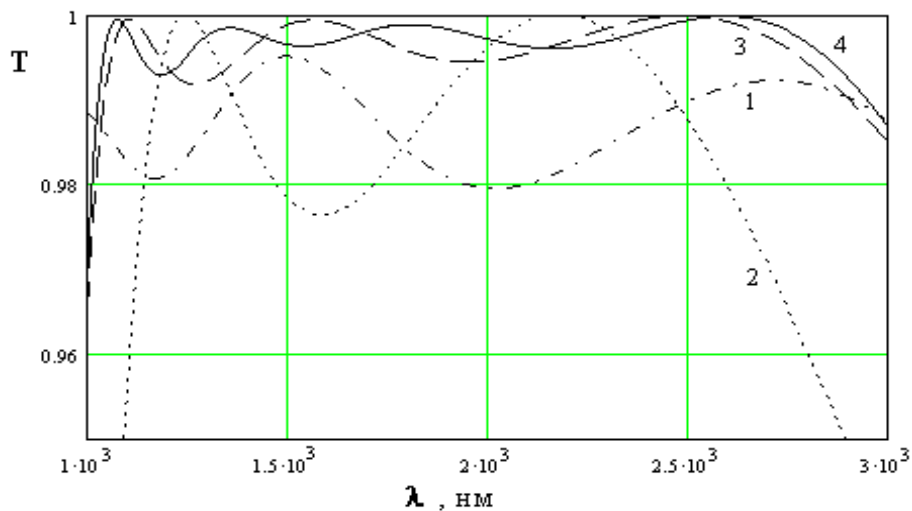


Рис. 1. Спектральні характеристики однорідних та неоднорідної структур:
1 – неоднорідна структура з квадратичним розподілом показника заломлення по товщині;
2 – двошарова структура;
3 – тришарова структура;
4 – чотиришарова структура.

Як бачимо з наведених даних та рис. 1, неоднорідна плівка з квадратичним розподілом показника заломлення дає кращі результати, ніж одно- та двошарові однорідні структури, але гірші ніж три- та чотиришарові однорідні структури.

ПІДСУМКИ

Отже, при дослідженні одно-, двошарових однорідних структур та неоднорідної плівки з квадратичним розподілом показника заломлення найефективнішим виявився метод конфігурацій (Хука-Дживса).

При визначенні оптимальних значень тришарових однорідних структур ефективнішими за інших виявились методи конфігурацій (Хука-Дживса), Розенброка та найскорішого спуску.

При дослідженні чотиришарових однорідних структур, найбільш ефективними слід визнати методи Розенброка та найскорішого спуску.

ЛІТЕРАТУРА

1. Яковлев П.П., Мешков Б.Б. Проектирование интерференционных покрытий. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Vegly P.G., Tikhonravov A.V., Trubetskov M.K. Efficient refinement algorithm for the synthesis of inhomogeneous optical coatings // *Applied Optics*. – 1997, Vol.36, №7. – P. 1487-1495.
3. Мица А.В., Первак Ю.А., Фекешгази И.В. Расчет и оптимизация оптических свойств неоднородных пленок на подложках Ge с квадратическим распределением показателя преломления // Харьковская научная ассамблея (14-й международный симпозиум “Тонкие пленки в оптике и электронике”). – Харьков: Контраст, – 2002. – ст. 62-65.
4. Pervak Y.O., Fekeshgazi I.V., Mitsa A.V. Optimization of the structure of a nonuniform film with linear distribution of the refractive index for the anti-reflective coatings of high reflective materials // *The International Society for Optical Engineering*. – Vinnytsia, 2002. – P.71.
5. Міца О.В. Оптимізація характеристик оптичних покриттів на основі неоднорідних плівок з різним типом розподілу показника заломлення // *Наук. вісник Ужгород. ун-ту. Сер. матем. і інф.* – 2001. – Вип. 6. – ст. 95-99.
6. Abeles F. *Ann.de Physique*. – 1950. – V.5. – P. 596-640.
7. Holovacs J., Mitsa A., Mitsa V. Computer modelling of characteristics of structures with short periods // *Proc. 4th International Conference on Applied Informatics*. – Eger-Noszvaj (Hungary), 1999. – P. 51-57.
8. Pervak Y., Mitsa A., Holovach J., Fekeshgazi I. Influence of transition film-substrate layers on optical properties of multilayer structure // *The International Society for Optical Engineering*. – Vinnytsia, 2000. – Vol. 4425. – P. 321-325.
9. Ляшенко И.Н., Карагодова Е.А., Черникова Н.В., Шор Н.З. Линейное и нелинейное программирование. – К.: Выща шк., 1975. – 372 с.