

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОДНО-, ДВО- ТА ТРИШАРОВИХ ОДНОРІДНИХ ОПТИЧНИХ СТРУКТУР ДЛЯ НИЗЬКОЗАЛОМЛЮЮЧОЇ ПІДКЛАДИНКИ

МІЦА О.В., ГОЛОВАЧ Й.І.

Визначено теоретичні можливості просвітлення одно-, дво- та тришаровими однорідними оптичними структурами низькозаломлюючої підкладки та найбільш ефективні методи для розв'язання даної задачі.

1. Вступ

Теоретичні можливості просвітлення багатшаровими однорідними структурами не є вивчені повністю. Тому метою даної роботи було визначити оптимальні параметри одно-, дво- та тришарових однорідних структур, динаміку їх зміни із збільшенням спектрального інтервалу, а також визначити найбільш ефективні методи багатовимірної оптимізації для розв'язання даної задачі. У даній роботі в якості підкладки вибираємо найбільш поширену низькозаломлюючу підкладку з показником заломлення $n_s = 1.51$ (скло).

2. Математична модель

Знаючи характеристичну матрицю одного шару [1–4]

$$M(n, d, \lambda) = \begin{pmatrix} \cos \delta(n, d, \lambda) & -\frac{i}{p} \sin \delta(n, d, \lambda) \\ -ip \sin \delta(n, d, \lambda) & \cos \delta(n, d, \lambda) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де $\delta(n, d, \lambda) = \frac{2\pi n d \cos \theta}{\lambda}$, можемо записати характеристичну матрицю однорідної N -шарової структури:

$$M(\bar{n}, \bar{d}, \lambda) = M_N(n_N, d_N, \lambda) \cdot M_{N-1}(n_{N-1}, d_{N-1}, \lambda) \cdot \dots \cdot M_2(n_2, d_2, \lambda) \cdot M_1(n_1, d_1, \lambda),$$

де M_j – характеристична матриця j -ого шару;
 $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_{N-1}, n_N)$ – вектор значень показників заломлення;
 $\bar{d} = (d_1, d_2, \dots, d_{N-1}, d_N)$ – вектор значень геометричної товщини;

Цільова функція представляється у вигляді:

$$\Omega(\lambda_2 / \lambda_1) = \max_{\bar{n}, \bar{d}} \left(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L T^2(\bar{n}, \bar{d}, \lambda_{(i)}) \right)^{1/2}, \quad (2)$$

де T – коефіцієнт пропускання [1–4], залежний від параметрів $\bar{n}, \bar{d}, \lambda_{(i)}$, 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.

При дослідженні вибирались значення

$$1.35 \leq n_j \leq 2.6, \quad 50 \text{ нм} \leq d_j \leq 750 \text{ нм} \quad (j = 1, \dots, N), \quad N=1, 2, 3; \quad \Delta\lambda = 5 \text{ нм}, \quad \lambda_1 = 200 \text{ нм}, \quad \lambda_2 = 1200 \text{ нм}. \quad (3)$$

3. Обчислювальний експеримент

Для знаходження оптимальних параметрів однорідних оптичних структур було випробувано різні методи багатовимірного пошуку екстремумів нелінійних функцій без обмежень [2, 5]. Серед них методи конфігурацій (Хука–Дживса), Розенброка, найкорішого спуску, спряжених градієнтів (Флетчера–Рівса, Поллака–Рібб'єра), змінної метрики (Девідона–Флетчера–Пауелла, Гольдфарба, Фіакко–Мак–Корміка, Грінстадта). Критерієм порівняння були величина області збіжності, яка характеризувалась кількістю точок, із яких можна досягнути максимум, та середня витрата машинного часу на пошук.

Окремо наведено результати досягнення максимуму з точністю 10^{-6} – 10^{-4} і окремо – з точністю 10^{-7} . При дослідженні одно- та двошарових структур в якості початкових (нульових) наближень вибирались 256 точок, а для тришарової вибирались 216 початкових наближень. Для одно- та двошарових структур вся область можливих значень параметрів (3) розбивається на 256 підобластей, із яких і вибирається по одному нульовому наближенню. Для тришарових структур при розбитті всієї області (3) для вибору нульових наближень отримаємо незначну кількість точок, із яких можна досягнути оптимальне значення. Тому нульові наближення вибирались із широкого околу оптимальних параметрів, щоб краще перевірити ефективність кожного із методів.

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

4. Результати

4.1. Одношарові однорідні плівки

Розглянемо оптимальні значення параметрів та значення функціоналу (2) для одношарової ($N=1$) структури (рис. 1–2).

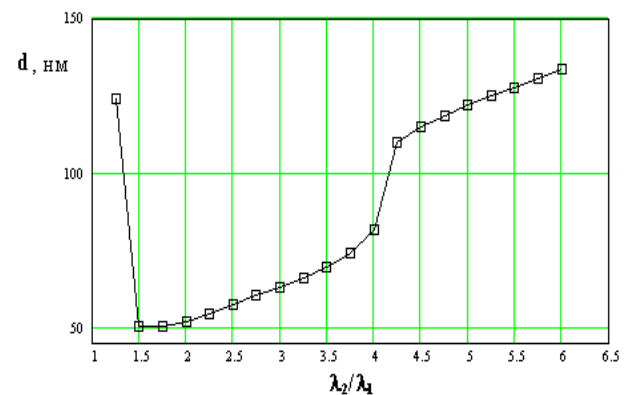


Рис. 1. Динаміка зміни оптимальних значень геометричної товщини одношарової однорідної структури.

Відомо, що найкраще серед одношарових просвітлює діапазон в околі довжини хвилі λ_0 одиничний шар з показником заломлення рівним

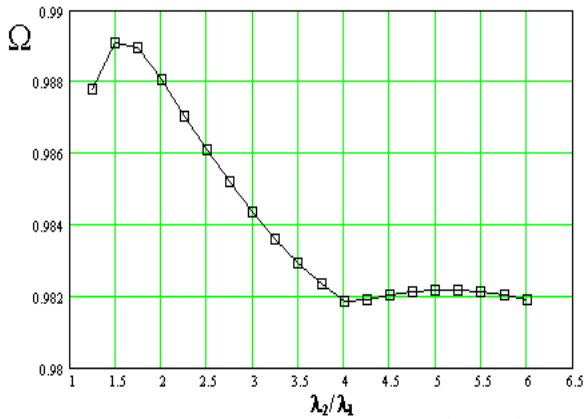


Рис. 2. Динаміка зміни функціоналу $\Omega(\lambda_2/\lambda_1)$ для одношарової однорідної структури.

$\sqrt{n_s}$ і оптичною товщиною $\lambda_0/4$ [1]. Не існує показника заломлення $\sqrt{1.51}$, так як це значення менше 1.35. Тому оптимальним значенням

4.2. Двошарові однорідні плівки.

Оптимальні значення параметрів та значення функціоналу (2) для двошарової ($N=2$) структури наведено на рисунках 3–5.

Графік оптимальних значень геометричної товщини містить досить різкі скачки при збільшенні правої границі. Так, для 1-го шару – це від 550 до 600 нм, від 750 до 800 нм та від 900 до 950 нм, для 2-го шару – від 250 до 300 нм та від 950 до 1000 нм. Оптимальне значення показника заломлення 2-го шару є сталим і рівне 1.35. Графік оптимального значення показника заломлення 1-го шару при збільшенні правої границі від 250 до 550 нм поступово спадає від 2.21 до 1.63, далі від

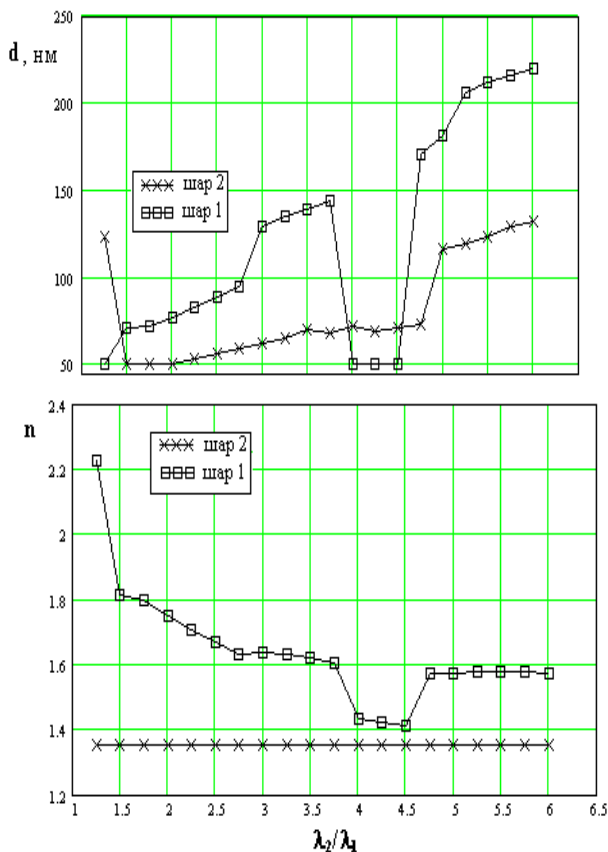


Рис. 4. Динаміка зміни оптимальних значень показника заломлення двошарової однорідної структури.

показника заломлення одношарової структури для всіх спектральних діапазонів є нижня можлива межа для показника заломлення $n_1=1.35$.

Графік оптимальних значень геометричної товщини містить різкі скачки при збільшенні правої границі від 250 до 300 нм та від 800 до 850 нм. Це свідчить про нестійкість оберненої задачі для одношарових однорідних структур.

Оптимальне значення геометричної товщини (рис. 1) при збільшенні правої границі від 250 до 300 нм зменшується від 123.8 до 50.0 нм. Далі поступово зростає із збільшенням спектрального інтервалу.

Функціонал $\Omega(\lambda_2/\lambda_1)$ при збільшенні правої границі від 250 до 300 нм збільшується від 0.9877589 до 0.9890731 (рис. 2). Далі поступово спадає із збільшенням правої границі λ_2 до 800 нм. При збільшенні правої границі λ_2 від 800 до 1200 нм значення функціоналу практично не змінюється і тримається в околі значення 0.982.

оптимальних значень показника заломлення 1-го шару містить різкі скачки при збільшенні правої границі від 250 до 300 нм, від 750 до 800 нм та від 900 до 950 нм.

Це свідчить про нестійкість оберненої задачі для двошарових однорідних структур. Оптимальні значення геометричної товщини (рис. 3) при збільшенні правої границі зростають, за винятком проміжків (750, 950 нм) для 1-го шару та (250, 300 нм) для 2-го шару.

550 до 750 нм залишається десь на одному рівні 1.60–1.63, потім від 750 до 950 різко спадає до 1.41–1.43 і від 950 до 1200 нм тримається на рівні приблизно 1.57.

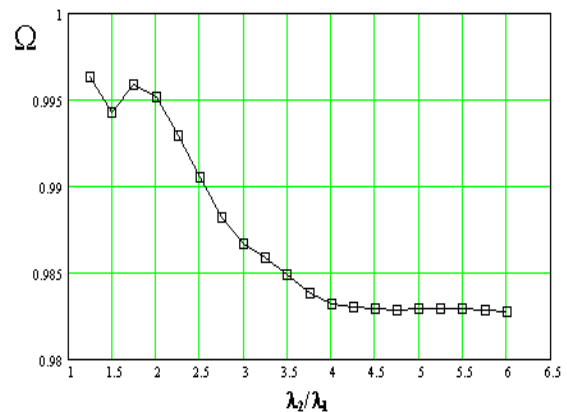


Рис. 5. Динаміка зміни функціоналу $\Omega(\lambda_2/\lambda_1)$ для двошарової однорідної структури.

Функціонал $\Omega(\lambda_2/\lambda_1)$ при збільшенні правої границі від 250 до 300 нм спадає від 0.9962123 до 0.9942016, потім від 300 до 350 нм зростає до 0.9957842 (рис. 5). Далі поступово спадає до 0.983 із збільшенням правої границі λ_2 до 800 нм. При збільшенні правої границі λ_2 від 800 до 1200 нм протягом всього проміжку функціонал змінюється на значення не більше $5 \cdot 10^{-4}$.

4.3. Тришарові однорідні плівки.

Розглянемо оптимальні значення параметрів та значення функціоналу (2) для тришарової ($N=3$) структури (рис. 6–8).

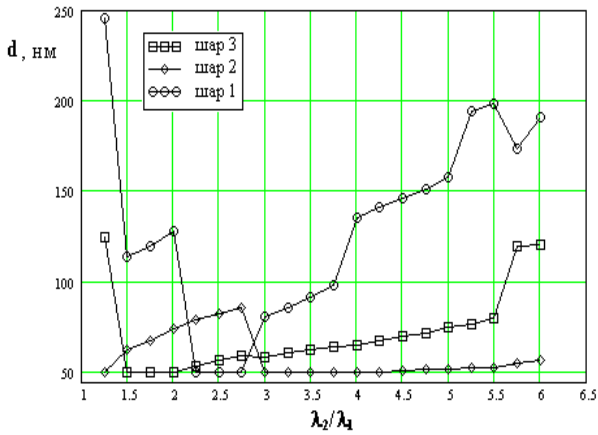


Рис. 6. Динаміка зміни оптимальних значень геометричної товщини тришарової однорідної структури.

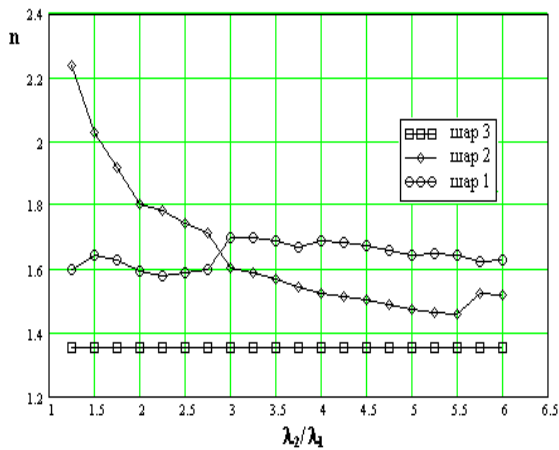


Рис. 7. Динаміка зміни оптимальних значень показника заломлення тришарової однорідної структури.

Графік оптимальних значень геометричної товщини (рис. 6) має скачки. Особливо різкі вони при збільшенні правої границі для 1-го шару – від 250 до 300 нм, від 400 до 450 нм, від 550 до 600 нм, від 750 до 800 нм та від 1000 до 1050 нм, для 2-го шару – від 550 до 600 нм, для 3-го шару – від 250 до 300 нм, від 1100 до 1150 нм. Це свідчить про нестійкість оберненої задачі для тришарових однорідних структур.

Оптимальні значення показника заломлення особливо різких скачків не мають (рис. 7). Оптимальне значення показника заломлення 1-го шару для всіх спектральних інтервалів міститься в межах приблизно 1.6–1.7.

Оптимальне значення показника заломлення 2-го шару при збільшенні правої границі від 250 до 1100 нм логарифмічно спадає від 2.237 до 1.434, далі незначно зростає.

Оптимальне значення показника заломлення верхнього шару є сталим і рівним нижній межі показника заломлення – 1.35, як і для двошарових структур.

Функціонал $\Omega(\lambda_2/\lambda_1)$ при збільшенні правої границі від 250 до 300 нм спадає від 0.9978740 до 0.9975247, потім від 300 до 350 нм – зростає до 0.9977872 (рис. 8). Далі поступово спадає приблизно до 0.9841815 із збільшенням правої границі λ_2 до 1200 нм.

Отже, графіки оптимальних значень геометричної товщини і оптимальних значень показника заломлення тришарової структури мають скачки. Так само вони спостерігались для одно-, двошарових структур. Це означає, що при невеликій зміні досліджуваного проміжку, оптимальні параметри різко змінюються. Отже, можна висловити твердження:

Твердження. Обернена задача синтезу для одно-, дво- та тришарових однорідних структур є нестійкою.

5. Висновки

В даній роботі отримано результати, які легко спроекувати на реальні матеріали. Це дозволяє розширити можливості просвітлення одно-, дво- та тришаровими однорідними оптичними структурами підкладинок із низьким показником заломлення.

Для визначення оптимальних значень параметрів однорідних структур найкраще використовувати: для одношарових структур – метод конфігурацій (Хука-Дживса), для дво- та тришарових структур – метод Розенброка.

Література: 1. Яковлев П.П., Мешков Б.Б. Проектирование интерференционных покрытий. М.: Машиностроение, 1987. 192 с. 2. Abeles F. Ann. de Physique. 1950. V.5. P. 596-640. 3. Мица 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. С. 95-99. 4. 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. С. 62-65. 5. Ляшенко И.Н., Карагодова Е.А., Черникова Н.В., Шор Н.З. Линейное и нелинейное программирование. К.: Выща шк., 1975. 372 с.

Поступила в редколлегию _____

Рецензенти: 1. Проф., д.т.н., Василенко Ю.А.
2. Проф., д.т.н., Пуятин В.П.

Мица Олександр Володимирович, аспірант кафедри кібернетики та прикладної математики Ужгородського національного університету. Коло наукових інтересів: математичне моделювання технічних та економічних систем, оптимізаційні методи. Автор 7 статей.
Адреса: м. Ужгород, вул. Бестужева, 4/10.
e-mail: mitsa@univ.uzhgorod.ua
Тел.: 8 (03122) 5-46-47

Головач Йозеф Ігнарович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Егерського інституту ім. Естергазі (Угорщина), професор кафедри кібернетики та прикладної математики Ужгородського національного університету. Коло наукових інтересів: математичне моделювання технічних та економічних систем, оптимізаційні методи, системи штучного інтелекту, бази даних. Автор 1 монографії та понад 80 статей.
Адреса: м. Ужгород, провул. Університетський, 4/2.
Тел.: 8 (03122) 4-21-05

УДК 519.87; 535.345.67

Исследование оптимальных параметров одно-, двух- и трехслойных однородных оптических структур для низкопреломляющей подложки / А.В. Мица, Й.И. Головач // Радиоэлектроника и информатика. _____.№ _____. С. ____.

В данной работе рассмотрена задача определения оптимальных параметров однородных оптических структур для просветления низкопреломляющей подложки в разных спектральных диапазонах. Результаты решения представлены графически. Для решения задачи были использованы методы многомерного поиска: конфигураций (Хука-Дживса),

Розенброка, найскорейшого спуска, спряжених градиент (Флетчера-Ривса, Поллака-Рибьєра), перемешанной метрики (Девидона-Флетчера-Пауелла, Гольдфарба, Фиакко-Мак-Кормика, Гринстадта). Установлено, что для определения оптимальных значений параметров однослойных однородных структур лучше всего использовать метод конфигураций (Хука-Дживса), а для двух- и трехслойных структур – метод Розенброка.
Табл. 3. Ил. 8. Библиогр.: 5 наим.

UDC 519.87; 535.345.67

The study of optimal parameters of one-, two- and three – layered homogeneous optical structures for a low- refracting substrate / A.V. Mitsa, J.I. Golovach // Radioelektronika i informatika. _____.№ _____. P. ____.

In the present article the problem of defining the optimal parameters of homogeneous optical structures for antireflecting a low-refracting substrate in different spectral ranges has been considered. The results of its solution are presented graphically.

The methods of multivariate search of: configurations (Hook-Jeeves), Rozenbroke, the fastest descent, conjugate gradients (Fletcher-Reeves, Pollaka-Ribiera), variable metrics (Devidone-Fletcher-Powell, Goldfarbe, Fiakko-McCormica, Greenstadte). Have been used to solve this problem, It has been established that the best method to be used for defining optimal values of the parameters of one-layered structures is that of configurations (Hook-Jeeves) and for two- and three-layered structures it is the Rozenbroke method.

Tab. 3. Fig. 8. Ref.: 5 items.