

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ r -АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ НЕКОТОРЫХ ОПТИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ

Мица А.В.¹, Стецюк П.И.²

¹Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина, alex.mitsa@gmail.com

²Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, Украина, stetsyuk@d120.icyb.kiev.ua

С помощью r -алгоритма произведено оптимизацию некоторых существующих оптических многослойных покрытий.

Ключевые слова: оптимизация, r -алгоритм, оптические многослойные покрытия.

By means of r -algorithm it is made optimisation of some existing optical multilayered coverings.

Keywords: optimisation, r -algorithm, optical multilayered coverings.

Оптические многослойные покрытия используются в оптических системах космической техники, оптическом приборостроении, интегральной оптике, рентгеновской и нейтронной спектроскопии, электродинамике открытых систем, при создании генераторов и преобразователей электромагнитного и других излучений, в аппаратуре контроля загрязнения окружающей среды и т.д. В авторских свидетельствах [1 – 3] описаны просветляющие широкополосные оптические многослойные покрытия. Их авторы с помощью своих оптимизационных методик смогли получить неплохие результаты. Попробуем построить свою модель для оптических многослойных покрытий и с помощью r -алгоритма

попытаемся немного улучшить спектральные характеристики этих покрытий.

Для расчета спектральных характеристик оптических многослойных покрытий будем использовать матричный метод [4].

Как известно [2], характеристическую матрицу одного слоя можно задать как:

$$M_j(N_j, d_j, \lambda) = \begin{vmatrix} \cos \delta_j(N_j, d_j, \lambda) & -\frac{i}{p_j} \sin \delta_j(N_j, d_j, \lambda) \\ -ip_j \sin \delta_j(N_j, d_j, \lambda) & \cos \delta_j(N_j, d_j, \lambda) \end{vmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{где } \delta_j(N_j, d_j, \lambda) = \frac{2\pi N_j d_j \cos \theta_j}{\lambda}, \quad N_j = n_j(1 + ik_j), \quad i = \sqrt{-1},$$

$n_j, k_j, d_j, \theta_j, \lambda$ – показатель преломления, показатель поглощения, геометрическая толщина, угол между лучом, что падает на $(j+1)$ -ый слой, и нормалью к плоскости разделения j -го и $(j+1)$ -го слоев, длина волны соответственно.

Поскольку для уменьшения световых потерь в оптических элементах при просвещении их поверхностей используются материалы с незначительным поглощением, то будем считать для упрощения моделирования $k_j=0$ и, соответственно, $N_j=n_j$. При цьому значения $p_j = N_j \cos \theta_j$ для ТЕ хвилі (s -поляризація) і $p_j = \frac{N_j}{\cos \theta_j}$ для ТМ хвилі (p -поляризація).

Рассмотрим случай, когда направление распространения излучения совпадает с нормалью к поверхности раздела отдельных слоев. Поэтому $\theta_j=0$ и, соответственно, $p_j = N_j$.

Характеристическая матрица k -слойной структуры будет равна [4]:

$$M(\bar{n}, \bar{d}, \lambda) = M_k(n_k, d_k, \lambda) \cdot M_{k-1}(n_{k-1}, d_{k-1}, \lambda) \cdots M_2(n_2, d_2, \lambda) \cdot M_1(n_1, d_1, \lambda), \quad (2)$$

где M_j – характеристическая матрица j -ого слоя;

$\bar{n} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ – вектор значений показателя преломления;

$\bar{d} = (d_1, d_2, d_3, d_4)$ – вектор значений геометрической толщины;

λ – длина волны.

Отсюда легко найти коэффициент пропускания k -слойной структуры при заданных значениях \bar{n} , \bar{d} та λ :

$$T(\bar{n}, \bar{d}, \lambda) = 1 - \left[\frac{n_0(M_{11}(\bar{n}, \bar{d}, \lambda) + n_s \cdot M_{12}(\bar{n}, \bar{d}, \lambda)) - (n_s \cdot M_{22}(\bar{n}, \bar{d}, \lambda) + M_{21}(\bar{n}, \bar{d}, \lambda))}{n_0(M_{11}(\bar{n}, \bar{d}, \lambda) + n_s \cdot M_{12}(\bar{n}, \bar{d}, \lambda)) + (n_s \cdot M_{22}(\bar{n}, \bar{d}, \lambda) + M_{21}(\bar{n}, \bar{d}, \lambda))} \right]^2, \quad (3)$$

где n_0 , n_s – показатели преломления внешней среды и подложки соответственно, M_{11} , M_{12} , M_{21} , M_{22} – элементы характеристической матрицы M .

Целевую функцию представим у виде:

$$\max_{\bar{n}, \bar{d}} F(\bar{n}, \bar{d}) = \left(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L T^2(\bar{n}, \bar{d}, \lambda_{(i)}) \right)^{1/2}, \quad (4)$$

где L – число точек сетки спектрального интервала от λ_1 до λ_2 . При равномерном его делении с шагом $\Delta\lambda$

$$L = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\Delta\lambda} + 1.$$

Способы вычисления производных из данной целевой функции описано в [5].

Рассмотрим авторское свидетельство [1]. Используя описанную выше модель и применяя г-алгоритм попробуем улучшить его спектральные характеристики. Оптимизация будет проводиться

только по геометрической толщине, значения показателей преломления зафиксируем. Рабочая длина волны рассматриваемого фильтра равна $\lambda_0 = 630$ нм.

После проведения оптимизации [6-10], получим оптимальные значения геометрической толщины, значение функционала $F(\bar{n}, \bar{d})$ при которых будет равно 0.997 (рис. 1, кривая 2). Значение функционала $F(\bar{n}, \bar{d})$ с параметрами, взятыми из авторского свидетельства [1], равно 0.995 (рис. 1, кривая 1).

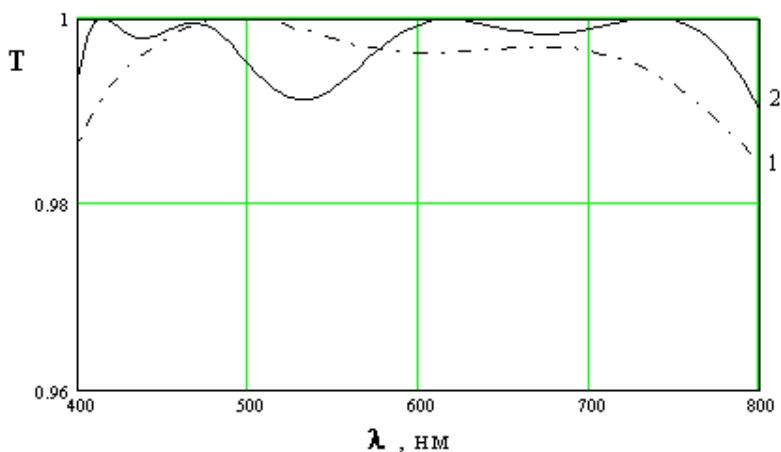


Рис. 1. Кривые коэффициента пропускания при просветлении подложки с показателем преломления $n_3=1.52$:

1 – параметры взяты из авторского свидетельства №1083144 [1]

$3.76 \cdot n_1 d_1 = 3.76 \cdot n_2 d_2 = 0.455 \cdot n_3 d_3 = n_4 d_4 = 0.25 \cdot \lambda_0$, $n_1=2.0$, $n_2=1.37$, $n_3=2.0$, $n_4=1.37$;

2 – параметры полученные в этой работе

$1.198 \cdot n_1 d_1 = 1.417 \cdot n_2 d_2 = 1.07 \cdot n_3 d_3 = 0.762 \cdot n_4 d_4 = 0.25 \cdot \lambda_0$, $n_1=1.7$, $n_2=1.45$,

Как видно с рис. 1, данный подход позволил улучшить просветление подложки по краям рассматриваемого диапазона. Но существующий провал для длин волн между 500 и 550 нм не

позволяет заключить, что полученный фильтр в целом лучше предыдущего, а скорее наоборот.

Рассмотрим другие произведенные вычислительные эксперименты. Для этого рассмотрим авторские свидетельства [2–3]. Покажем, что, не изменяя значений показателей преломления слоев, можно несколько улучшить спектральные характеристики просветления подложки (рис. 2–3) за счет оптимизации геометрической толщины в рассматриваемой модели (1–4) используя γ -алгоритм. Рабочая длина волны оптического фильтра [2] равна $\lambda_0 = 750$ нм, а для оптического фильтра [3] – $\lambda_0 = 630$ нм.

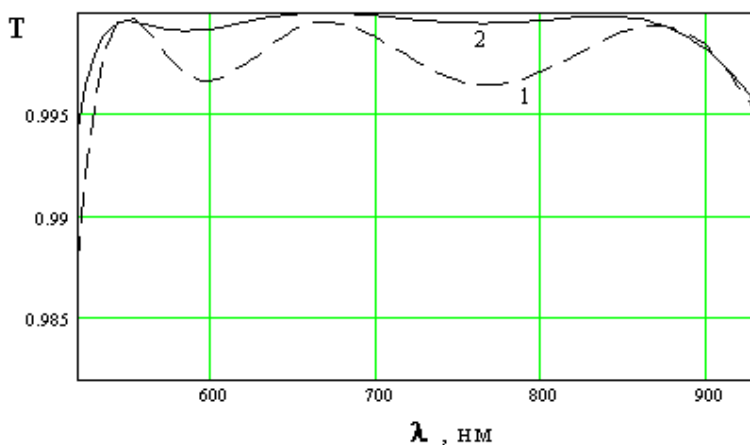


Рис. 2. Кривые коэффициента пропускания при просветлении 7-слойной структурой с чередующимися слоями (1.35 та 2.1) подложки с показателем преломления $n_s=1.52$:

1 – параметры взятые из авторского свидетельства №934429 [2] (оптические толщины слоев относительно λ_0 становятся 0.064 : 0.038 : 0.401 : 0.032 : 0.084 : 0.459 : 0.229);

2 – параметры полученные в этой работе (оптические толщины слоев относительно λ_0 становятся 0.063 : 0.012 : 0.229 : 0.02 : 0.082 : 0.224 : 0.167).

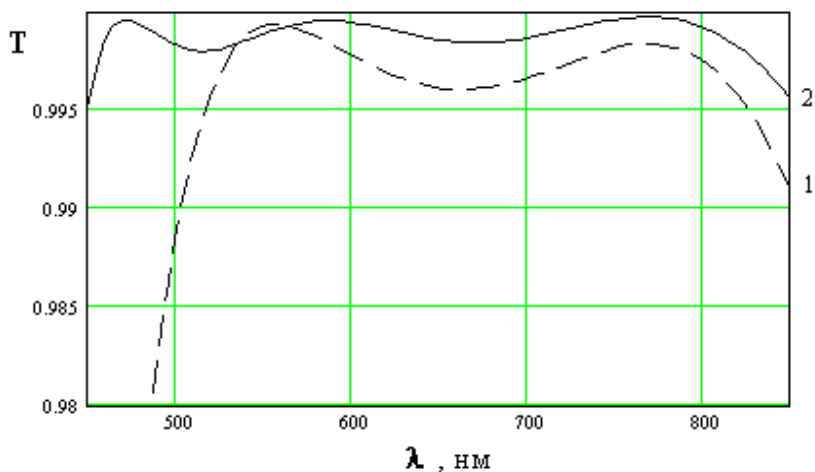


Рис. 3. Кривые коэффициента пропускания при просветлении 7-слойной структурой с чередующимися слоями (1.35 та 2.1) подложки с показателем преломления $n_s=1.52$:

1 – параметры взяты из авторского свидетельства №838629 [3]

(оптические толщины слоев относительно λ_0 становятся 0.06 : 0.02 : 0.35 : 0.02 : 0.07 : 0.42 : 0.21);

2 – параметры полученные в этой работе (оптические толщины слоев относительно λ_0 становятся 0.038 : 0.035 : 0.047 : 0.126 : 0.014 : 0.059 : 0.155).

Рассмотрим значение функционала для каждого из рассмотренных оптических многослойных покрытий. Так, значение функционала $F(\bar{n}, \bar{d})$ с параметрами взятыми с авторского свидетельства [2] на спектральном диапазоне $0.75 - 1.25 \lambda_0$ становится 0.9982, а с параметрами полученными в данной работе – 0.9996 (рис. 2). Рассмотрим следующие конструкции. Для спектрального диапазона $0.75 - 1.14 \lambda_0$ значение функционала $F(\bar{n}, \bar{d})$ с параметрами взятыми с авторского свидетельства [3] становится 0.9974, а с параметрами полученными в данной работе – 0.9989 (рис. 3). Даже

увеличив спектральный диапазон до размеров $0.6 - 1.14 \lambda_0$ значение функционала $F(\bar{n}, \bar{d})$ с параметрами полученными в данной работе практически не меняется, а для свидетельства [3] будет становить – 0.9889.

Полученные, после решения оптимизационной задачи (1–4) с помощью г-алгоритма, значения спектральных характеристик просветления подложки (рис.2, кривая 2) и (рис.3, кривая 2) есть несколько лучше, чем спектральных характеристик просветления подложки существующих оптических многослойных покрытий (рис.2, кривая 1) и (рис.3, кривая 1). Это позволяет утверждать, что г-алгоритм является эффективным инструментом решения некоторых оптимизационных задач, связанных с оптическими многослойными покрытиями.

Литература

1. Просветляющее интерференционное покрытие: А.с. 1083144 СССР, МКИ G 02 В 5/28; G 02 В 1/10. // Б.И. Агафонов, М.Ф. Васильева, А.С. Герчиков, Е.А. Федин, П.П. Яковлев (СССР). – № 3420182/18–10; Заявлено 12.04.82; Оpubл. 30.03.84, Бюл. №12. – 3 с.
2. Широкополосное просветляющее покрытие: А.с. 934429 СССР, МКИ G 02 В 5/28. // В.Д. Веденский и Е.Г. Столов (СССР). – № 2809841/18–10; Заявлено 09.07.79; Оpubл. 07.06.82, Бюл. №21. –3 с.
3. Интерференционное ахроматическое просветляющее покрытие: А.с. 838629 СССР, МКИ G 02 В 5/28. // В.Д. Веденский, Е.Г. Столов, А.А. Метельников, Ш.А. Фурман и Е.Г. Семин (СССР). – №2822915/18–10; Заявлено 15.10.79; Оpubл.15.06.81, Бюл. №22.–3с.
4. Abeles F. Ann.de Physique. – 1950. V.5. P. 596-640.
5. Стецюк П.И., Мица А.В. О задачах оптимизации параметров для многослойных оптических покрытий // Кибернетика и системный анализ. – Киев, 2005. – С. 107–115.
6. Мица О.В. Синтез чотиришарових структур та аналіз ефективності методів багатовимірного пошуку // Наук. вісник Чернівецького ун-ту. – Сер. матем. – 2002. – Вип. 150. – С. 63–68.

7. 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.
8. Mitsa, A., V. Mitsa, and A. Ugrin. "Modelling of spectral characteristics on inhomogeneous (gradient) antireflective coatings based on chalcogenide glasses. J." *Chalcogenide Letters* 2.1 (2005): 5-7.
9. Mitsa, A. V., I. V. Fekeshgazi, and M. Gomes. "Modelling of Spectral Characteristics of Short-period Structures with Slightly Inhomogeneous Films Based on Wide Bandgap Optical Materials." *Proc. 8th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2004): Invited Session "Photonic Materials for Optical Computing "*, Orlando, USA. 2004.
10. Міца О.В., Стецюк П.І. Задача знаходження оптимальних параметрів однорідного оптичного покриття // Теорія оптимальних рішень. – № 2. – Київ, 2003. – С. 127–134.