

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ И ТРЕХСЛОЙНЫХ ПРОСВЕТЛЯЮЩИХ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ПРИ ПАДЕНИИ СВЕТА ПОД УГЛОМ 45°

А. В. МИЦА, В. И. ПЕЦКО

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

Спроектировано двухслойные и трехслойные оптические покрытия просветляющие подложку с показателем преломления $n_s=1,51$ при падении света под углом $\theta_0 = 45^{\circ}$ для s- и p-поляризаций на спектральном интервале от 200 до 1000 нм. При проведении расчетов использовался r-алгоритм.

Ключевые слова: *r-алгоритм, оптические просветляющие покрытия, многоэкстремальная оптимизация.*

В последнее время растет интерес к техническому применению многослойных интерференционных систем и фильтров оптических структур, что вызвало быстрое развитие той области физической оптики, которая касается отражения, пропускания и поглощения света в однослойных или многослойных тонкопленочных системах. 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.

Перспективы развития оптоэлектроники, лазерной техники и фотоники требует разработки и синтеза высокоэффективных многослойных тонкопленочных систем с низкими потерями и вещественной химической стойкости. Для получения таких систем необходимо решить вопрос выбора материалов подложки и слоев, из которых состоит система; расчета толщины слоев и оптических

параметров конструкции. В связи с этим необходимо контролировать толщины слоев таких покрытий, определять влияние погрешности напыления на спектральные характеристики систем. Особый интерес вызывают просветляющие оптические покрытия, сделанные из небольшого числа слоев [1].

Для расчета спектральных характеристик оптических многослойных покрытий будем использовать матричный метод [2]. Целевую функцию для просветляющего покрытия представим в виде:

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

где T – коэффициент пропускания, зависящий от вектора значений показателей преломления $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_{k-1}, n_k)$, вектора значений геометрической толщины $\bar{d} = (d_1, d_2, \dots, d_{k-1}, d_k)$ и длины волны λ , L – число точек сетки спектрального интервала от λ_1 до λ_2 , при равномерном его распределении с шагом $\Delta\lambda$:

$$L = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\Delta\lambda} + 1. \quad (2)$$

При проектировании интерференционных покрытий ограничим верхние и нижние границы показателей преломления и геометрические толщины слоев:

$$D = \left\{ \mathbf{x} \mid n_{j \min} \leq n_j \leq n_{j \max}, \quad d_{j \min} \leq d_j \leq d_{j \max}, \quad j = \overline{1, m} \right\}. \quad (3)$$

Ограничения (3) можно легко исключить используя стандартный прием, который состоит в использовании новой переменной \mathbf{Z} , которая связана с \mathbf{X} отношением вида

$$x_j = x_{j \min} + (x_{j \max} - x_{j \min}) \sin^2 z_j \quad (4a)$$

или

$$x_j = \frac{x_{j \max} z_j^2 + x_{j \min}}{z_j^2 + 1}, \quad j = \overline{1, 2m}. \quad (4b)$$

В качестве подложки возьмем стекло с показателем преломления $n = 1,51$. С помощью г-алгоритма [3] сначала находим оптимальные параметры функционала (1), а дальше подбираем показатели преломления реальных материалов, которые ближе к полученным теоретических результатов. После этого фиксируем показатели преломления и оптимизируем толщины слоев.

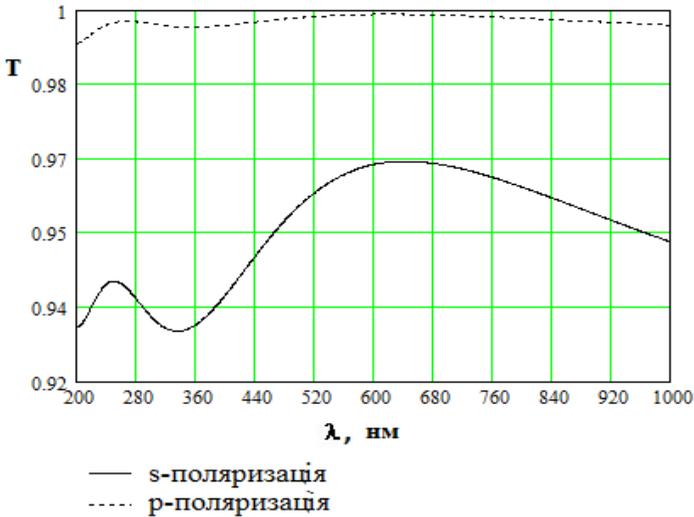


Рис. 1. Кривые коэффициентов пропускания двухслойного покрытия для кута $\theta_0 = 45^\circ$

Рассмотрим двухслойное покрытие, при падении света под углом $\theta_0 = 45^\circ$. После проведения вычислений для s-поляризации получим оптическое покрытие со следующей структурой: первый слой толщиной $d_1 = 191,675$ нм с материала Al_2O_3 , показатель преломления которого $n_1 = 1,62$, второй - материал Na_3AlF_6 с показателем преломления $n_2 = 1,35$ и толщиной $d_2 = 140,146$ нм. Значение целевой функции (1) равно 0,9565462. Причем при $\lambda = 218$ нм получим максимум коэффициента пропускания $T_{max} = 0,9931124$, а

при $\lambda = 348$ нм получим минимум коэффициента пропускания $T_{\min} = 0,8587976$ (рис. 1).

Для р-поляризации при падении света была спроектирована следующая двухслойная оптическая структура. Для первого слоя взято SiO_2 с показателем преломления $n_1 = 1,43$ толщиной $d_1 = 62,467$, для второго Na_3AlF_6 с показателем $n_2 = 1,35$ толщиной $d_2 = 94,445$. Значение целевой функции (1) равно $0,9976911$. Причем при $\lambda = 618$ нм получим максимум коэффициента пропускания $T_{\max} = 0,9990503$, а при $\lambda = 200$ получим минимум коэффициента пропускания $T_{\min} = 0,9927314$. Из рисунка 1 видно, что на всем спектральном интервале для s-поляризации коэффициент пропускания спроектированных покрытий больше для р-поляризации.

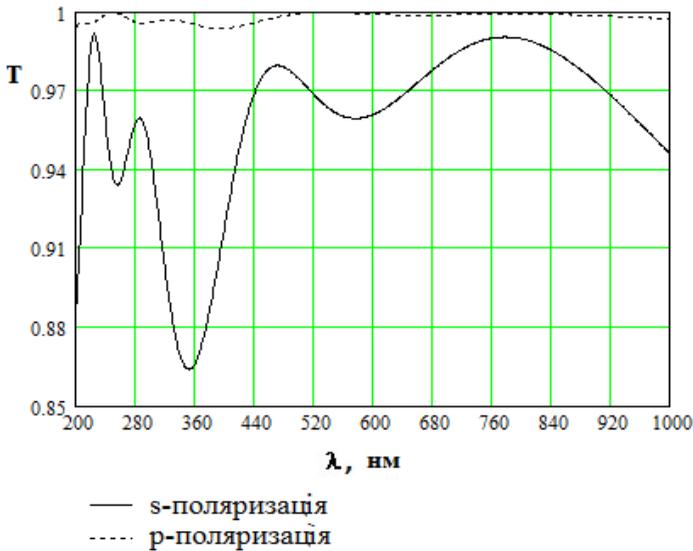


Рис. 2. Кривые коэффициентов пропускания трехслойного покрытия под углом $\theta_0 = 45^\circ$

Рассмотрим трехслойное покрытие, при падении света под углом $\theta_0 = 45^\circ$. После проведения вычислений для s-поляризации

получим оптическое покрытие со следующей структурой: первый слой – Al_2O_3 с показателем преломления $n_1=1.7$ толщиной $d_1=175,170$ нм, второй - материал SiO_2 с показателем преломления $n_2=1.43$ толщиной $d_2=59,749$ нм, третий – Na_3AlF_6 с показателем преломления $n_3=1,35$ толщиной $d_3=83,052$. Значение целевой функции (1) равно 0,9595659. Причем при $\lambda=224$ нм получим максимум коэффициента пропускания $T_{\max}=0,9916499$, а при $\lambda=352$ нм получим минимум коэффициента пропускания $T_{\min}=0,8638871$ (рис. 2). Для р-поляризации, при падении света под углом $\theta_0=45^\circ$ была спроектирована следующая трехслойная оптическая структура. Для первого слоя взято PbTe с показателем преломления $n_1=1.57$ толщиной $d_1=228,707$, для второго SiO_2 с показателем преломления $n_2=1,43$ толщиной $d_2=65,929$, для третьего Na_3AlF_6 с показателем преломления $n_3=1,35$ толщиной $d_3=82,684$. Значение целевой функции (1) равно 0.99784433. График коэффициента пропускания для р-поляризации показано на рис. 2. Причем при $\lambda=249$ нм получим максимум коэффициента пропускания $T_{\max}=0,9997700$, а при $\lambda=393$ получим минимум коэффициента пропускания $T_{\min}=0,9935194$. Как и для двухслойного покрытия для трехслойного на всем спектральном интервале для s-поляризации коэффициент пропускания спроектированных покрытий больше для р-поляризации.

Полученные двухслойные и трехслойные оптические покрытия можно реализовать и использовать на практике.

Литература

1. *Яковлев П.П.* Проектирование интерференционных покрытий / П.П. Яковлев, Б.Б. Мешков – М.: Машиностроение, 1987.– 192 с.
2. *Furman Sh.* Basics of optics of multiplayer systems / Sh.Furman., A.V. Tikhonravov – Editions Frontiers, Gif-sur Yvette, 1992. – 242 p.
3. *Шор Н.З.* Методы минимизации недифференцируемых функций и их приложения. – Киев: Наукова думка, 1979. – 199с.