

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И ИНФОРМАТИКИ»

ОПТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Гриднева Г.Н.

Кафедра «Инновационные технологии в приборостроении, микро-
и оптоэлектронике»

Методические указания к курсовому проекту

на тему: *"Расчет многослойных просветляющих и отражающих
покрытий"*

Специальность

200.204 (Оптические технологии и материалы)

Москва 2011 г.

1. Цель и задачи курсового проекта:

Цель курсового проекта – закрепление знаний по разделам лекций:

- ✓ расчет оптических характеристик покрытий;
- ✓ классификация оптических покрытий и их основные свойства;
- ✓ конструирование интерференционных покрытий;
- ✓ разработка технологического процесса нанесения оптических покрытий;
- ✓ получение практических навыков по расчету многослойных просветляющих (задание 1) и отражающих покрытий (задание 2) для заданной марки стекла.

Задание 1.

Для данной марки оптического материала произвести расчет однослойного, двухслойного и многослойного просветляющего покрытия с минимальным коэффициентом отражения для данной длины волны λ_0 .

Подобрать оптические толщины и материалы напыляемых покрытий, а также методы их нанесения.

Варьируя оптической толщиной пленки в заданном интервале длин волн, построить спектральные зависимости коэффициента отражения $R=f(\beta)$, $R=f(\lambda)$.

Для оптимальной конструкции покрытия составить технологическую карту его нанесения.

Задание 2.

Для данной марки оптического материала произвести расчет однослойного, двухслойного, многослойного отражающего покрытия с максимальным коэффициентом отражения для данной длины волны λ_0 .

Подобрать оптические толщины и материалы напыляемых покрытий, а также методы их нанесения.

Варьируя оптической толщиной пленки в заданном интервале длин волн, построить спектральные зависимости коэффициента отражения $R=f(\beta)$, $R=f(\lambda)$.

Для оптимальной конструкции покрытия составить технологическую карту его нанесения.

Пример варианта задания 1.

Материал: стекло СТК 7 ГОСТ 3514 - 94

$n_e = 1,650$

Химическая устойчивость к пятнающим реагентам – IV

Устойчивость к влажной атмосфере – у

Однослойное покрытие: $\lambda_0/4$

Двухслойное покрытие: $\lambda_0/4 - \lambda_0/4$

Трехслойное покрытие: $\lambda_0/4 - \lambda_0/2 - \lambda_0/4$

Четырехслойное покрытие: $\lambda_0/4 - \lambda_0/4 - \lambda_0/4 - \lambda_0/4$

$\lambda_0 = 560 \pm 20$ нм; $\lambda_1 - \lambda_2 = 340 - 1500$ нм.

Пример варианта задания 2.

Материал: стекло СТК 7 ГОСТ 3514 - 94

$n_e=1,65$

Химическая устойчивость к пятнающим реагентам – IV

Устойчивость к влажной атмосфере – а

Однослойное покрытие: $\lambda_0/4$

Двухслойное покрытие: $\lambda_0/4 - \lambda_0/4$

Трехслойное покрытие: $\lambda_0/4 - \lambda_0/2 - \lambda_0/4$

Четырехслойное покрытие: $\lambda_0/4 - \lambda_0/4 - \lambda_0/4 - \lambda_0/4$

$\lambda_0 = 560 \pm 20$ нм; $\lambda_1 - \lambda_2 = 340 - 1500$ нм.

2. Методика расчета просветляющих покрытий.

Расчет ведется для системы: воздух – пленка – подложка при нормальном падении света на поверхность оптической детали ($\varepsilon_1 = 0$).

Параметрами, определяющие конструкцию покрытия, являются:

- Оптические толщины слоев $n_i \cdot h_i$;
- Показатели преломления слоев n_i , n_{i-1} , и т.д.;
- Число оптических сред i .

Формулы для расчета просветляющих и отражающих покрытий:

$$r_{i,i+1} = \frac{n_i - n_{i+1}}{n_i + n_{i+1}}, \quad (2.1)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} n_2 \cdot h_2, \quad (2.2)$$

$$r_{i,j} = \frac{r_{i,i+1} + r_{i+1,j} \cos 2\beta}{1 + r_{i,i+1} \cdot r_{i+1,j} \cos 2\beta}, \quad (2.3)$$

$$R_{1,3} = |r_{1,3}|^2, \quad (2.4)$$

где $r_{i,i+1}$ – амплитудный коэффициент отражения на границе раздела двух сред с индексами $i, i+1$, имеющими показатели преломления n_i и n_{i+1} ;

$r_{1,i}$ – амплитудный коэффициент отражения системы из i сред;

β – угол сдвига фаз;

$n_i \cdot h_i$ – оптическая толщина i – го слоя покрытия;

λ – длина волны света;

$R_{1,i}$ – энергетический коэффициент отражения системы из i сред.

Расчет однослойного просветляющего покрытия.

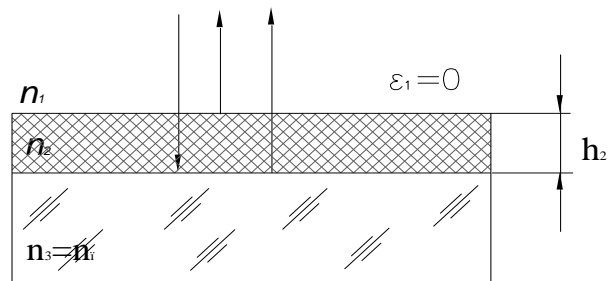


Рисунок 2.1

$$n_2 = \sqrt{n_1 \cdot n_3}, \quad (2.5)$$

$$n_2 \cdot h_2 = \lambda_0 / 4, \quad (2.6)$$

$$n_1 < n_2 < n_3. \quad (2.7)$$

Формулы (2.5 – 2.7) являются условиями идеального просветляющего слоя, где:

- n_1 - показатель преломления окружающей среды;
- n_2 - показатель преломления просветляющего слоя;
- n_3 - показатель преломления подложки;
- h_2 - толщина просветляющего слоя;
- λ_0 – заданная рабочая длина волны.

Интегральный коэффициент отражения ρ_{\min} рассчитывается по формуле Френеля:

$$\rho_{\min} = \left(\frac{n_2^2 - n_3^2}{n_2^2 + n_3^2} \right)^2 \quad (2.8)$$

Энергетический коэффициент отражения системы воздух – пленка – подложка R_{13} вычисляется по формулам (2.9 – 2.12):

$$r_{1,2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}, \quad (2.9)$$

$$r_{2,3} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}, \quad (2.10)$$

$$r_{1,3} = \frac{r_{1,2} + r_{2,3} \cos 2\beta}{1 + r_{1,2} \cdot r_{2,3} \cos 2\beta}, \quad (2.11)$$

$$R_{1,3} = |r_{1,3}|^2, \quad (2.12)$$

где $\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} n_2 \cdot h_2$

При $\lambda_0 = \lambda \rightarrow \beta = \pi/2$

Энергетический коэффициент пропускания: $T_{1,3} = 1 - R_{1,3} \quad (2.13)$

Расчет двухслойного просветляющего покрытия.

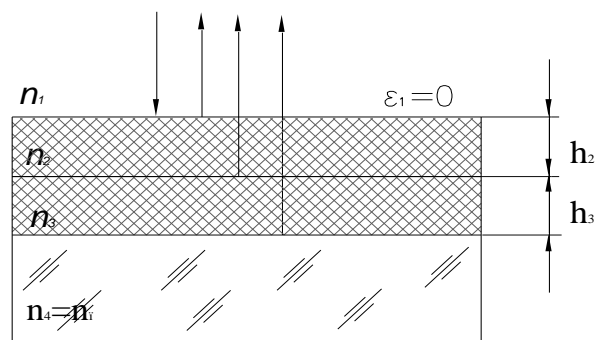


Рисунок 2.2

$$n_2 \cdot h_2 = n_3 \cdot h_3 = \lambda_0 / 4, \quad (2.14)$$

$$n_3 / n_2 = \sqrt{n_4}, \quad (2.15)$$

где:

- n_2 – показатель преломления первого слоя просветляющего покрытия;
- n_3 – показатель преломления второго слоя просветляющего покрытия;
- n_4 – показатель преломления подложки.

Если условие (2.15) не выполняется, то коэффициент отражения ρ_{\min} рассчитывается по формуле (2.16):

$$\rho_{\min} = \left(\frac{n_2^2 n_4 - n_3^2}{n_2^2 n_4 + n_3^2} \right)^2 \quad (2.16)$$

Расчет амплитудных и энергетических коэффициентов отражения системы воздух – слои – подложка производится по следующим формулам (2.1 – 2.4), которые принимают вид:

$$r_{1,2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}, \quad (2.17)$$

$$r_{2,3} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}, \quad (2.18)$$

$$r_{3,4} = \frac{n_3 - n_4}{n_3 + n_4}, \quad (2.19)$$

$$r_{1,4} = \frac{r_{1,2} + r_{2,4} \cos 2\beta}{1 + r_{1,2} \cdot r_{2,4} \cos 2\beta}, \quad (2.20)$$

$$\text{где } r_{2,4} = \frac{r_{2,3} + r_{3,4} \cos 2\beta}{1 + r_{2,3} \cdot r_{3,4} \cos 2\beta}, \quad (2.21)$$

$$R_{1,4} = |r_{1,4}|^2, \quad (2.22)$$

где β - угол сдвига фаз вычисляется по формуле:

$$\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} n_2 \cdot h_2 \quad (2.23)$$

При $\lambda_0 = \lambda \rightarrow \beta = \pi/2$

Энергетический коэффициент пропускания вычисляется по формуле:

$$T_{1,4} = 1 - R_{1,4} \quad (2.24)$$

Расчет трехслойного ахроматического просветляющего покрытия.

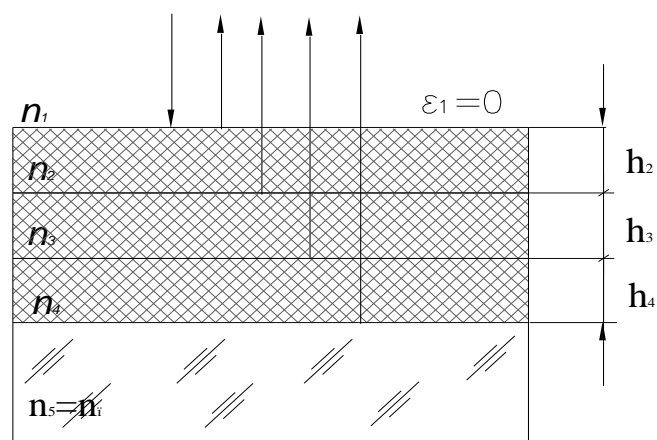


Рисунок 2.3

Для ахроматического покрытия типа $n_2 \cdot h_2 = n_4 \cdot h_4 = \lambda_0 / 4$, $n_3 \cdot h_3 = \lambda_0 / 2$ соотношения показателей преломления слоев должны удовлетворять следующие условия:

$$n_5 < n_3 < n_4 > n_2 \quad (2.25)$$

$$n_3 \geq n_2 \quad (2.26)$$

Интегральный коэффициент отражения ρ_{\min} рассчитывается по формуле Френеля:

$$\rho_{\min} = \left(\frac{n_2^2 - n_5}{n_2^2 + n_5} \right)^2 \quad (2.27)$$

Расчет амплитудных и энергетических коэффициентов отражения системы воздух – слои – подложка производится по следующим формулам (2.1 – 2.4), которые принимают вид:

$$\mathbf{r}_{1,2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}, \quad (2.28)$$

$$\mathbf{r}_{2,3} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}, \quad (2.29)$$

$$\mathbf{r}_{3,4} = \frac{n_3 - n_4}{n_3 + n_4}, \quad (2.30)$$

$$\mathbf{r}_{4,5} = \frac{n_4 - n_5}{n_4 + n_5}, \quad (2.31)$$

$$r_{1,5} = \frac{r_{1,2} + r_{2,5} \cos 2\beta_1}{1 + r_{1,2} \cdot r_{2,5} \cos 2\beta_1}, \quad (2.32)$$

$$r_{2,5} = \frac{r_{2,3} + r_{3,5} \cos 2\beta_2}{1 + r_{2,3} \cdot r_{3,5} \cos 2\beta_2}, \quad (2.33)$$

$$r_{3,5} = \frac{r_{3,4} + r_{4,5} \cos 2\beta_1}{1 + r_{3,4} \cdot r_{4,5} \cos 2\beta_1}, \quad (2.34)$$

$$\beta_1 = \frac{2\pi}{\lambda} n h = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \lambda_0 / 4 \quad (2.35)$$

$$\beta_2 = \frac{2\pi}{\lambda} n h = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \lambda_0 / 2 \quad (2.36)$$

$$\mathbf{R}_{1,5} = |r_{1,5}|^2, \quad (2.37)$$

где β - угол сдвига фаз вычисляется по формуле:

$$\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} n_2 \cdot h_2 \quad (2.38)$$

При $\lambda_0 = \lambda \rightarrow \beta = \pi / 2$

Энергетический коэффициент пропускания вычисляется по формуле:

$$T_{1,5} = 1 - R_{1,5} \quad (2.39)$$

Расчет четырехслойного просветляющего покрытия.

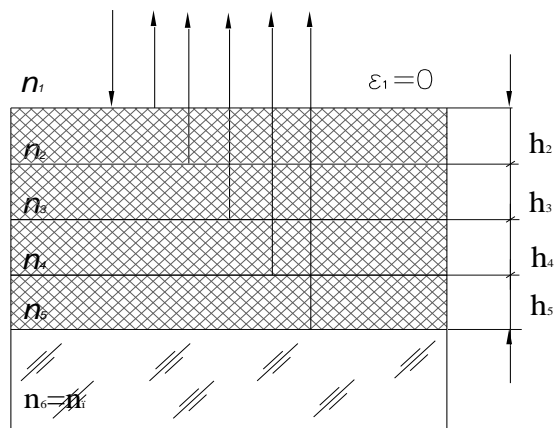


Рисунок 2.4

Показатели преломления четырехслойного покрытия с оптическими толщинами каждого слоя $n \cdot h = \lambda_0 / 4$, подчинены соотношению:

$$n_2 < n_6 < n_5 < n_4 > n_3 \quad (2.40)$$

Интегральный коэффициент отражения ρ_{\min} рассчитывается по формуле Френеля:

$$\rho_{\min} = \left(\frac{n_2^2 - n_6}{n_2^2 + n_6} \right)^2 \quad (2.41)$$

Расчет амплитудных и энергетических коэффициентов отражения системы воздух – слои – подложка производится по следующим формулам (2.1 – 2.4), которые принимают вид:

$$\mathbf{r}_{1,2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}, \quad (2.42)$$

$$\mathbf{r}_{2,3} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}, \quad (2.43)$$

$$\mathbf{r}_{3,4} = \frac{n_3 - n_4}{n_3 + n_4}, \quad (2.44)$$

$$\mathbf{r}_{4,5} = \frac{n_4 - n_5}{n_4 + n_5}, \quad (2.45)$$

$$\mathbf{r}_{5,6} = \frac{n_5 - n_6}{n_5 + n_6}, \quad (2.46)$$

$$r_{1,6} = \frac{r_{1,2} + r_{2,6} \cos 2\beta}{1 + r_{1,2} \cdot r_{2,6} \cos 2\beta}, \quad (2.47)$$

$$r_{2,6} = \frac{r_{2,3} + r_{3,6} \cos 2\beta}{1 + r_{2,3} \cdot r_{3,6} \cos 2\beta}, \quad (2.48)$$

$$r_{3,6} = \frac{r_{3,4} + r_{4,6} \cos 2\beta}{1 + r_{3,4} \cdot r_{4,6} \cos 2\beta}, \quad (2.49)$$

$$r_{4,6} = \frac{r_{4,5} + r_{5,6} \cos 2\beta}{1 + r_{4,5} \cdot r_{5,6} \cos 2\beta}, \quad (2.50)$$

$$\mathbf{R}_{1,6} = |r_{1,6}|^2, \quad (2.51)$$

где β - угол сдвига фаз вычисляется по формуле:

$$\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} n_2 \cdot h_2 \quad (2.52)$$

При $\lambda_0 = \lambda \rightarrow \beta = \pi/2$

Энергетический коэффициент пропускания вычисляется по формуле:

$$T_{1,6} = 1 - R_{1,6} \quad (2.53)$$

Расчет пятислойного просветляющего покрытия, состоящего из четвертьволновых слоев.

Возможны следующие варианты соотношения показателей преломления слоев и стекла:

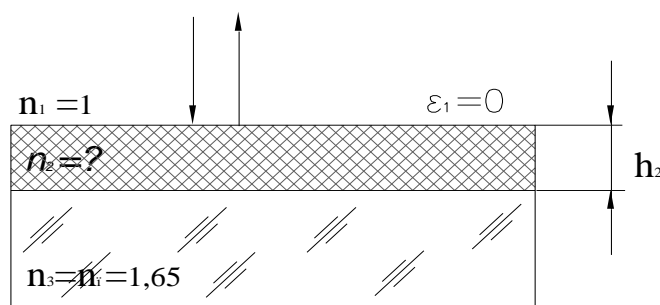
$$1. \quad n_4 > n_5 = n_3 > n_6 > n_7 > n_2$$

$$2. \quad n_3 > n_4 > n_7 > n_5 = n_6 \geq n_2$$

Далее расчет ведется аналогично расчету четырехслойного покрытия.

3. Пример расчета однослойного просветляющего покрытия .

Расчет однослойного просветляющего покрытия



Определим условия идеального однослойного просветляющего покрытия:

$$n_2 \cdot h_2 = \lambda_0 / 4; \quad n_2 \cdot h_2 = \frac{560}{4} = 140 \text{ нм.}$$

$$n_2 = \sqrt{n_1 \cdot n_3} \quad ; \quad n_2 = \sqrt{1 \cdot 1,65} = 1,28$$

$$1 < 1,28 < 1,65$$

Из таблицы пленкообразующих материалов (приложение 1) выберем материал с наиболее близким к расчетному показателю преломления для заданной области спектра.

$$n_2 = 1,38 - \text{MgF}_2 \text{ (фтористый магний)}$$

Метод нанесения: ИЭ

$$T_{\text{исп.}} = 1270 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{подл.}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda_1 - \lambda_2 = 210 - 10000 \text{ нм.}$$

Рассчитаем интегральный коэффициент отражения ρ_{\min} :

$$\rho_{\min} = \left(\frac{n_2^2 - n_3^2}{n_2^2 + n_3^2} \right)^2 ; \rho_{\min} = \left(\frac{(1,38)^2 - 1,65^2}{(1,38)^2 + 1,65^2} \right)^2 = 0,005 = 0,5 \%$$

Расчет зависимостей $R_{1,3} = f(\beta)$ и $R_{1,3} = f(\lambda)$ произведем по формуле (2.9 - 2.12), подставив значения: $n_1 = 1$; $n_2 = 1,38$; $n_3 = 1,65$; $n_2 h_2 = \lambda_0/2$; $\lambda_0 = 560 \text{ нм.}$

На основе полученных данных составим таблицы 3.1 и 3.2 и построим график $R_{1,3} = f(\beta)$ (рис. 3.1) и $R_{1,3} = f(\lambda)$ (рис. 3.2).

Спектральная зависимость $R_{1,3} = f(\beta)$

Таблица 3.1

$n_2 h_2$	0	$\lambda_0/4$	$\lambda_0/2$	$3\lambda_0/4$	λ_0
β	0	$\pi/2$	π	$3/2\pi$	2π
$\cos 2\beta$	1	-1	1	-1	1
$R_{1,3}$	0,06	0,0051	0,06	0,0051	0,06

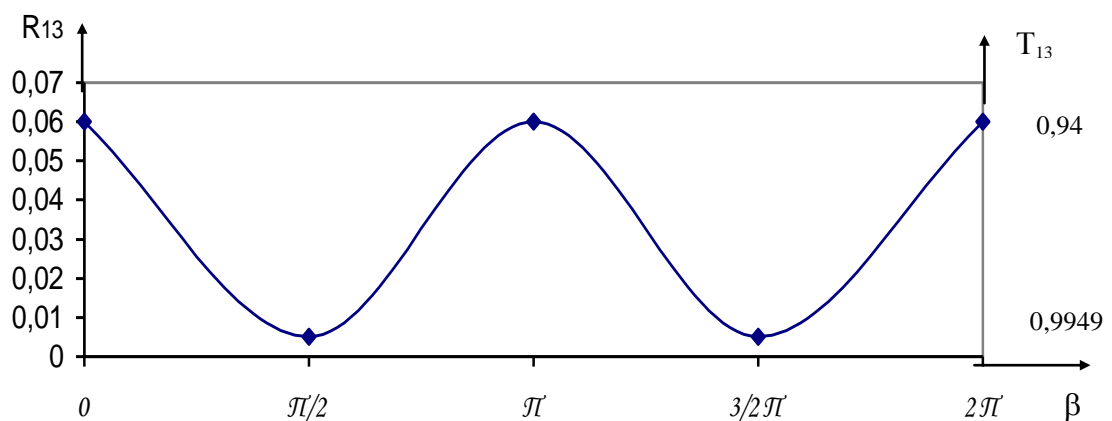


Рисунок 3.1

Спектральная зависимость $R_{1,3} = f(\lambda)$

Таблица 3.2

λ_1	340	450	560	874	1188	1500
β	$0,82\pi$	$0,62\pi$	$\pi/2$	$0,32\pi$	$0,23\pi$	$0,18\pi$
$\cos 2\beta$	0,42	-0,72	-1	-0,42	0,12	0,42
$R_{1,3}$	0,044	0,0132	0,0051	0,0221	0,0367	0,044

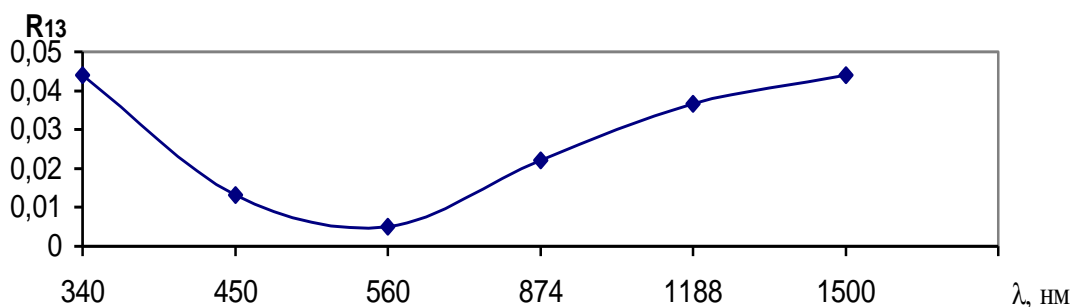


Рисунок 3.2

Дальнейший расчет конструкцией покрытий ведется в соответствии с изложенной методикой в разделе 2.

Для выбора оптимального просветляющего покрытия необходимо построить спектральные зависимости энергетического коэффициента отражения $R = f(\lambda)$ для всех покрытий в единой системе координат (рис. 3.3).

Оптимальным является покрытие, имеющее минимальный коэффициент отражения в заданной области спектра. Выбранное покрытие обозначается по ОСТ 3 – 1901 – 94 и для него составляется технологический процесс нанесения покрытия.

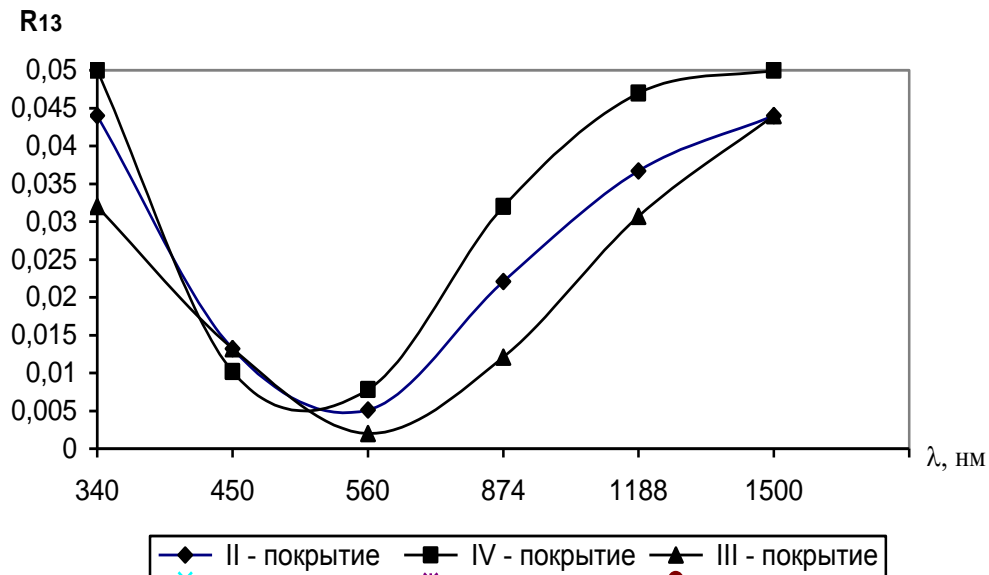


Рисунок 3.3

4. Методика расчета отражающих покрытий.

Расчет однослойного отражающего покрытия.

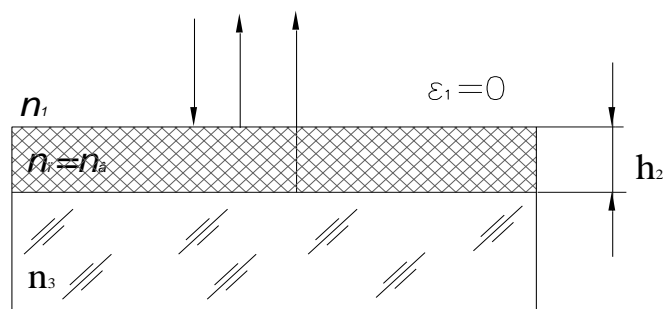


Рисунок 4.1

$$n_2 \cdot h_2 = \lambda_0 / 4, \quad (4.1)$$

$$n_1 < n_2 > n_3, \quad (4.2)$$

$$n_{II} = n_B \quad (4.3)$$

Формулы (4.1 – 4.3) являются условиями идеального отражающего слоя, где:

- n_1 - показатель преломления окружающей среды;
- n_2 - показатель преломления пленки;
- n_3 - показатель преломления подложки;
- n_v – показатель преломления пленкообразующего материала (с n высоким)
- h_2 - толщина просветляющего слоя;
- λ_0 – заданная рабочая длина волны.

Интегральный коэффициент отражения ρ_{\min} рассчитывается по формуле Френеля:

$$\rho_{\min} = \left(\frac{n_2^2 - n_3^2}{n_2^2 + n_3^2} \right)^2 \quad (4.4)$$

Энергетический коэффициент отражения системы воздух – пленка – подложка $R_{1,3}$ вычисляется по формуле (4.8);

$$r_{1,2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}, \quad (4.5)$$

$$r_{2,3} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}, \quad (4.6)$$

$$r_{1,3} = \frac{r_{1,2} + r_{2,3} \cos 2\beta}{1 + r_{1,2} \cdot r_{2,3} \cos 2\beta}, \quad (4.7)$$

$$R_{1,3} = |r_{1,3}|^2, \quad (4.8)$$

$$\text{где } \beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} n_2 \cdot h_2 \quad (4.9)$$

При $\lambda_0 = \lambda \rightarrow \beta = \pi/2$

Расчет двухслойного отражающего покрытия.

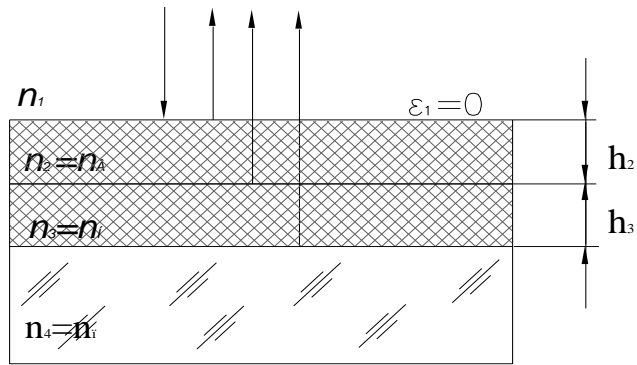


Рисунок 4.2

$$n_2 \cdot h_2 = n_3 \cdot h_3 = \lambda_0 / 4, \quad (4.10)$$

$$n_2 = n_B, \quad (4.11)$$

$$n_3 = n_H \quad (4.12)$$

Интегральный коэффициент отражения ρ_{\min} рассчитывается по формуле Френеля:

$$\rho_{\min} = \left(\frac{n_2^2 n_4 - n_3^2}{n_2^2 n_4 + n_3^2} \right)^2 \quad (4.13)$$

Расчет амплитудных и энергетических коэффициентов отражения системы воздух – слои – подложка производится по следующим формулам (4.1 – 4.3), которые принимают вид:

$$r_{1,2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}, \quad (4.14)$$

$$r_{2,3} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}, \quad (4.15)$$

$$r_{3,4} = \frac{n_3 - n_4}{n_3 + n_4}, \quad (4.16)$$

$$r_{1,4} = \frac{r_{1,2} + r_{2,4} \cos 2\beta}{1 + r_{1,2} \cdot r_{2,4} \cos 2\beta}, \quad (4.17)$$

$$\text{где } r_{2,4} = \frac{r_{2,3} + r_{3,4} \cos 2\beta}{1 + r_{2,3} \cdot r_{3,4} \cos 2\beta}, \quad (4.18)$$

$$R_{14} = |r_{14}|^2, \quad (4.19)$$

где β - угол сдвига фаз вычисляется по формуле:

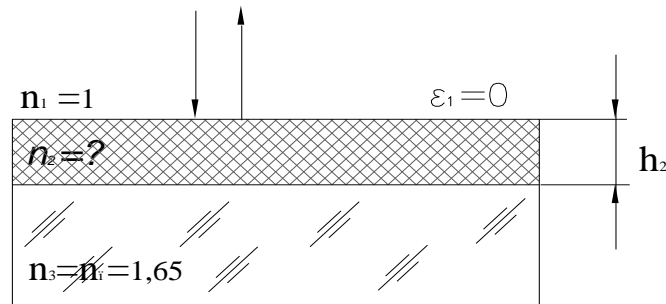
$$\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} n_2 \cdot h_2 \quad (4.20)$$

$$\text{При } \lambda_0 = \lambda \rightarrow \beta = \pi/2$$

Расчет трехслойного и четырехслойных отражающих покрытий ведется аналогично расчету двухслойного отражающего покрытия.

5. Пример расчета однослойного отражающего покрытия.

Расчет однослойного отражающего покрытия



Определим условия идеального однослойного отражающего покрытия:

$$n_2 \cdot h_2 = \lambda_0 / 4; \quad n_2 \cdot h_2 = \frac{560}{4} = 140 \text{ нм.}$$

$$n_2 = n_B = 2.4 (\text{TiO}_2);$$

$$1 < 2,4 > 1,65$$

Рассчитаем интегральный коэффициент отражения ρ_{\min} :

$$\rho_{\min} = \left(\frac{n_2^2 - n_3}{n_2^2 + n_3} \right)^2; \quad \rho_{\min} = \left(\frac{(2,4)^2 - 1,65}{(2,4)^2 + 1,65} \right)^2 = 0,3076 = 30,76 \%$$

Рассчитаем энергетические коэффициенты отражения системы воздух – пленка – подложка.

На основе полученных данных составим таблицы 5.1 и 5.2 и построим график $R_{1,3} = f(\beta)$ (рис. 5.1) и $R_{1,3} = f(\lambda)$ (рис. 5.2)

Спектральная зависимость $R_{1,3} = f(\beta)$ Теоретический анализ

Таблица 5.1

$n_2 h_2$	0	$\lambda_0/4$	$\lambda_0/2$	$3\lambda_0/4$	λ_0
β	0	$\pi/2$	π	$3/2\pi$	2π
$\cos 2\beta$	1	-1	1	-1	1
$R_{1,3}$	0,0601	0,3076	0,0601	0,3076	0,0601

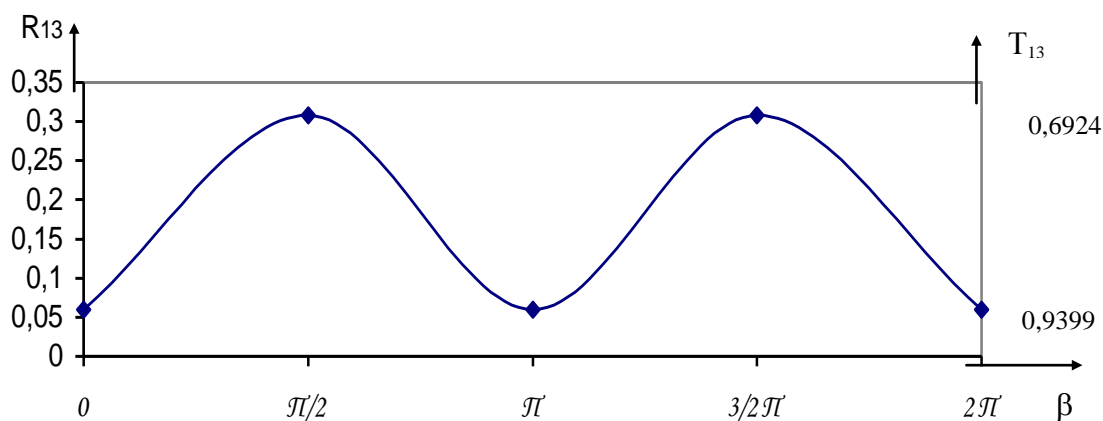


Рисунок 5.1

Спектральная зависимость $R_{1,3} = f(\lambda)$

Таблица 5.2

λ_1	340	450	560	874	1188	1500
β	$0,82\pi$	$0,62\pi$	$\pi/2$	$0,32\pi$	$0,23\pi$	$0,18\pi$
$\cos 2\beta$	0,42	-0,72	-1	-0,42	0,12	0,42
$R_{1,3}$	0,1484	0,2811	0,3076	0,2504	0,1878	0,1484

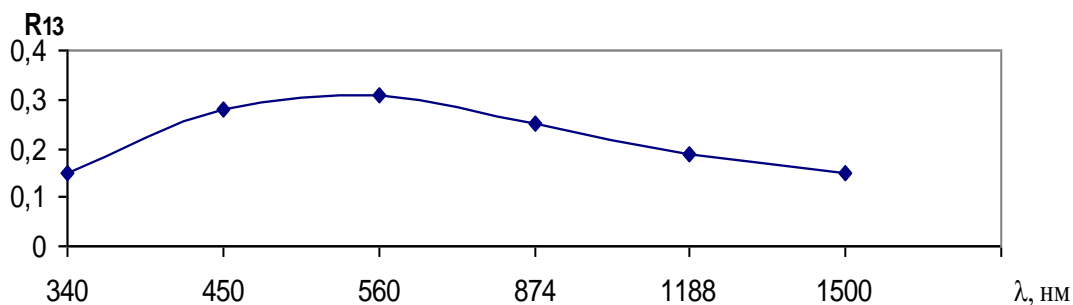


Рисунок 5.2

Дальнейший расчет конструкцией покрытий ведется в соответствии с изложенной в разделе 2 методикой.

Для выбора оптимального отражающего покрытия необходимо построить спектральные зависимости энергетического коэффициента отражения $R = f(\lambda)$ для всех покрытий в единой системе координат (рис. 5.3).

Оптимальным является покрытие, имеющее максимальный коэффициент отражения в заданной области спектра. Выбранное покрытие обозначается по ОСТ 3 – 1901 – 94 и для него составляется технологический процесс нанесения покрытия.

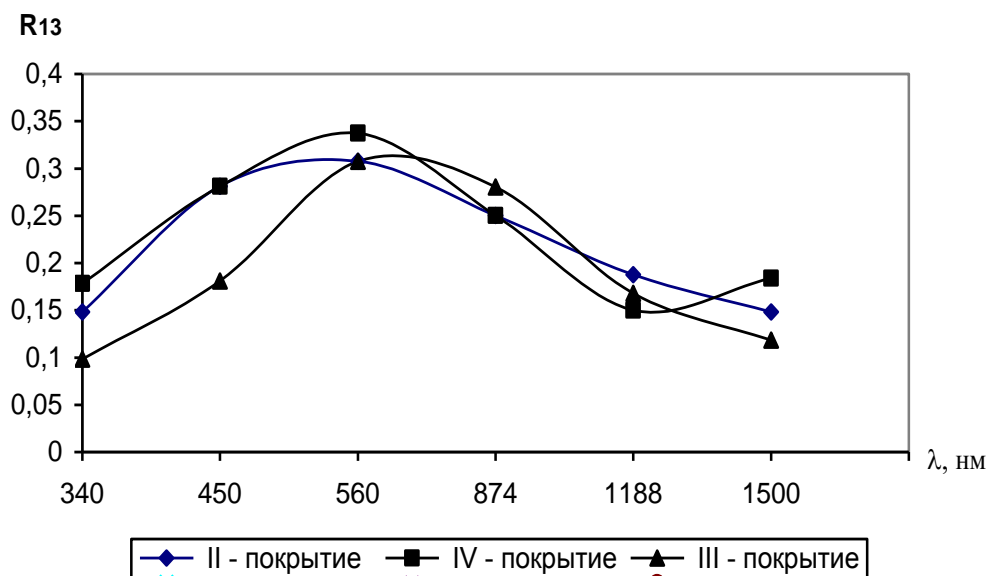


Рисунок 5.3

6. Литература.

1. Конспект лекций по дисциплине "Оптические покрытия".
2. Справочник технолога-оптика/ М.А.Окатов, Э.А. Антонов, А. Байгоджин и др.; под редакцией М.А. Окатова. – 2-е издание, переработанное и дополненное – СПб.: Политехника, 2004-679с.