

ТАН ТАЙ ДО, Л. А. ГУБАНОВА

### ПЯТИСЛОЙНЫЕ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫЕ ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ТРЕХ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрена возможность уменьшения количества пленкообразующих материалов при создании пятислойных четвертьволновых просветляющих покрытий.

*Ключевые слова:* интерференционное покрытие, просветляющее покрытие, пятислойное покрытие.

В настоящее время для изменения физико-химических свойств оптических деталей используются интерференционные покрытия, которые формируются в основном методом термического испарения в вакууме. Современные вакуумные установки обычно имеют в своем составе не более трех испарителей [1], содержащих пленкообразующие материалы.

Данная статья является продолжением работы [2], где рассматриваются просветляющие покрытия, состоящие из пяти четвертьволновых слоев, сформированных из различных пленкообразующих материалов, что вызывает затруднение при реализации такого вида покрытий.

Структура пятислойной четвертьволновой интерференционной системы характеризуется показателями преломления ( $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$ ) и оптическими толщинами ( $n_1d_1, n_2d_2, n_3d_3, n_4d_4, n_5d_5$ ) каждого слоя. Для рассмотренных структур  $n_1d_1 = n_2d_2 = n_3d_3 = n_4d_4 = n_5d_5 = \lambda_0/4$ , где  $\lambda_0$  соответствует середине рабочего спектрального диапазона. Световое излучение с длиной волны  $\lambda$  падает из среды с показателем преломления  $n_0$ , а покрытие сформировано на подложке с показателем преломления  $n_m$ .

Рассмотрим возможности уменьшения количества пленкообразующих материалов. Напомним, что ранее полученное условие просветления [2] для пятислойного четвертьволнового просветляющего покрытия имеет вид

$$n_1n_5 = n_2n_4 = n_3^2 = n_0n_m. \quad (1)$$

Показатель преломления пленкообразующего материала, из которого изготовлен третий слой, равен

$$n_3 = \sqrt{n_0n_m}, \quad (2)$$

т.е. для определенной подложки значение  $n_3$  является фиксированным.

Исходя из условия (1), можно предложить несколько вариантов: 1 —  $n_1 = n_2$ , 2 —  $n_1 = n_3$ , 3 —  $n_1 = n_4$ , 4 —  $n_2 = n_3$ . Рассмотрим каждый из них.

**1.  $n_1 = n_2$ .** Если  $n_1 = n_2$ , то  $n_5 = n_4 = n_0n_m/n_1$ . В этом случае условие (1) примет вид  $n_1n_5 = n_1n_5 = n_3^2 = n_0n_m$ . Тогда для показателей преломления материалов, формирующих пятислойное покрытие, можно записать:  $n_1n_1n_3n_5n_5n_m$ . Такое пятислойное просветляющее покрытие образуется на основе трех материалов с показателями преломления  $n_1, n_5, n_3$ . Однако оп-

тические толщины слоев не будут равны между собой, но будут кратны  $\lambda_0/4$ , а толщины слоев, граничащих с воздушной средой и подложкой, равны  $\lambda_0/2$ .

**2.  $n_1 = n_3$ .** Если  $n_1 = n_3$ , то  $n_5 = n_0 n_m / n_1 = n_3 = n_1$ . В этом случае материалы, из которых сформированы слои покрытия, имеют следующие показатели преломления:  $n_1 n_2 n_1 n_4 n_1 n_m$ , где  $n_1 = n_3$ . Таким образом, просветляющее покрытие также будет формироваться из трех материалов с показателями преломления  $n_1, n_2, n_4$ .

**3.  $n_1 = n_4$ .** Если  $n_1 = n_4$ , то  $n_2 = n_5$ . Тогда для показателей преломления материалов, из которых формируется покрытие, можно записать:  $n_1 n_2 n_3 n_1 n_2 n_m$ .

Таким образом, пятислойное просветляющее покрытие в этом случае будет сформировано из трех материалов с показателями преломления  $n_1, n_2, n_3$ .

**4.  $n_2 = n_3$ .** Если  $n_2 = n_3$ , то  $n_4 = n_0 n_m / n_2 = n_3 = n_2$ . Тогда можно записать:  $n_1 n_3 n_3 n_3 n_5 n_m$ . Пятислойное просветляющее покрытие в этом случае формируется на основе трех материалов с показателями преломления  $n_1, n_3, n_5$ . Отличительная особенность данной структуры заключается в том, что оптическая толщина центрального слоя будет равна  $3/4\lambda$ , а толщины обрамляющих его слоев, по-прежнему, равны  $\lambda/4$ .

Все рассмотренные пятислойные четвертьволновые просветляющие покрытия формируются на основе трех пленкообразующих материалов, что позволяет реализовать их с использованием стандартных вакуумных установок. Кроме того, структуры, соответствующие вариантам 1 и 4, имеют только четыре границы раздела, что существенно снижает напряжение внутри покрытия, поскольку уменьшается количество границ раздела, и покрытие становится более стабильным в условиях перепада температуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник технолога-оптика / Под ред. М. А. Окатова. СПб: Политехника, 2004. 679 с.
2. До Тан Тай, Губанова Л. А., Путилин Э. С., Фам Ван Хоа. Пятислойные четвертьволновые просветляющие покрытия для инфракрасного диапазона спектра // Оптич. журн. 2014. Т. 81, № 10. С. 72—76.

#### Сведения об авторах

- Тан Тай До** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра оптоинформационных технологий и материалов, Санкт-Петербург; E-mail: tantaido@yahoo.com
- Людмила Александровна Губанова** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра оптоинформационных технологий и материалов, Санкт-Петербург; E-mail: la7777@mail.ru

Рекомендована кафедрой  
оптоинформационных технологий и материалов

Поступила в редакцию  
03.10.14 г.