

---

---

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

---

---

УДК 681.7.064.454  
DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-6-157-166

### ПЯТИСЛОЙНОЕ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОЕ ПРОСВЕТЛЯЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ВИДИМОЙ И БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТЕЙ СПЕКТРА

ТАН ТАЙ ДО, Л. А. ГУБАНОВА

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: la7777@mail.ru*

Представлены практические результаты исследования пятислояного четвертьволнового просветляющего покрытия. Полученное покрытие имеет низкий коэффициент отражения в видимой и ближней инфракрасной областях спектра.

**Ключевые слова:** просветляющее, пятислояное четвертьволновое покрытие, видимая и ближняя инфракрасная области спектра.

В настоящей работе приведены практические результаты исследований предложенной ранее авторами [см. лит.] структуры интерференционного просветляющего покрытия на основе системы четвертьволновых диэлектрических слоев. Наличие в структуре слоев, толщина которых кратна четверти длины волны, существенно упрощает контроль их параметров в процессе формирования покрытия в вакууме. Структура интерференционного покрытия характеризуется показателем преломления ( $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$ ) и оптической толщиной ( $n_1d_1, n_2d_2, n_3d_3, n_4d_4, n_5d_5$ ) слоев, входящих в его состав. Оптическая толщина слоев равна четверти длины волны  $\lambda_0$ . Световое излучение с длиной волны  $\lambda$  падает из среды с показателем преломления  $n_0$ , а покрытие сформировано на подложке с показателем преломления  $n_m$ . Условием просветления данной системы [см. лит.] является следующее соотношение:

$$(n_1 n_3 n_5)^2 = (n_2 n_4)^2 n_0 n_m.$$

С целью получения минимального отражения в заданном спектральном диапазоне была создана компьютерная программа, позволяющая за счет выбора материала слоев регулировать спектральную область, в которой наблюдается эффект просветления.

В результате проведенных расчетов была получена просветляющая структура для оптического стекла марки К8, которая в диапазоне длин волн 0,45—1,1 мкм обеспечивает интегральный коэффициент отражения 0,8 %, а в интервале 0,45—0,9 — 0,5 %. В качестве пленкообразующих материалов для формирования слоев с высокой механической и лучевой прочностью целесообразно использовать фторид магния ( $n_1=1,35$ ), оксид циркония ( $n_2=2,0$ ), оксид гафния ( $n_3=2,2$ ), оксид магния ( $n_4=1,71$ ) и диоксид кремния ( $n_5=1,45$ ). Показатель преломления подложки  $n_m=1,52$ ;  $\lambda_1 = 0,6$  мкм.

Были рассмотрены спектральные характеристики просветляющего покрытия при наклонном падении излучения. Как видно из рис. 1 (1 —  $\alpha=0$ , 2 — 10, 3 — 30, 4 — 45°), в этом случае наблюдаются смещение спектральной кривой в коротковолновую область и увеличение значения энергетического коэффициента отражения. Спектральная характеристика энергетического коэффициента отражения при угле падения излучения  $<30^\circ$  незначительно отличается от спектральной характеристики, полученной при нормальном падении.

При  $\alpha=0—45^\circ$  в спектральном диапазоне, ограниченном длинами волн  $\lambda_1, \lambda_2$  ( $\lambda_2/\lambda_1=2,5$ ), интегральный коэффициент отражения ( $R_{cp}$ ) равен 0,8 %, при  $30^\circ$  — увеличивается до 1 %, при  $45^\circ$  — до 1,9 %.

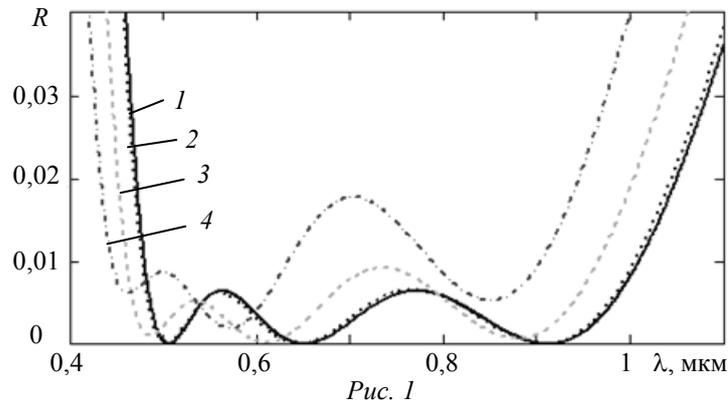


Рис. 1

Нулевое значение энергетического коэффициента отражения при угле падения больше  $30^\circ$  отсутствует из-за рассогласования энергетического коэффициента отражения для состояний поляризации  $s$  и  $p$ .

Просветляющие покрытия, в состав которых входят тугоплавкие окислы с температурой испарения выше  $1000^\circ\text{C}$ , целесообразно формировать методом термического испарения веществ в вакууме путем электронно-лучевого нагрева. При нанесении покрытий была использована стандартная вакуумная установка ВУ-2М, снабженная электронно-лучевым испарителем и системой фотометрического контроля СФКТ-751В. При формировании структур по мере увеличения толщины слоев контролировалось пропускание оптического элемента. Величина остаточного давления в вакуумной камере составляла  $(1—3) \cdot 10^{-3}$  Па. Для получения равномерного покрытия оптический элемент вращался внутри вакуумной камеры. Коэффициенты пропускания оптического элемента, изготовленного из стекла марки К8, перед и после нанесения просветляющего покрытия были измерены на спектрофотометре СФ-56.

Из рис. 2 видно, что расчетная и экспериментальная спектральные характеристики энергетического коэффициента пропускания оптического элемента, на двух поверхностях которого было сформировано пятислойное четвертьволновое просветляющее покрытие, достаточно хорошо согласуются между собой (1 — пропускание подложки без просветляющего покрытия, 2 — экспериментальная спектральная характеристика пропускания, 3 — расчетная спектральная характеристика пропускания). Наличие просветляющего покрытия такого типа на оптическом элементе, изготовленном из оптического стекла марки К8, значительно (на 6—8 %) увеличивает его пропускание в широком спектральном диапазоне, охватывающем видимую и ближнюю инфракрасную области (0,45—1,1 мкм) спектра. Среднее значение энергетического коэффициента пропускания оптического элемента в диапазоне 0,6—0,8 мкм составляет 98 %.

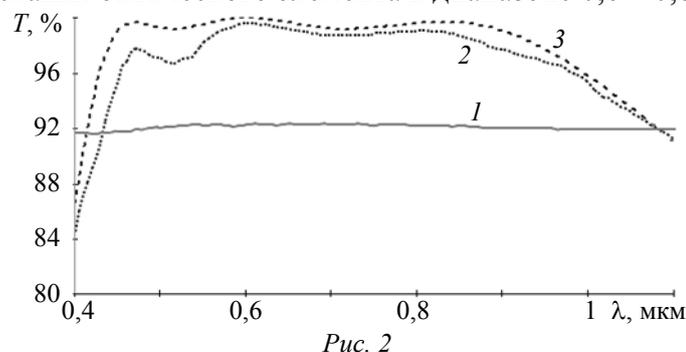


Рис. 2

Расхождение расчетной и экспериментальной спектральных характеристик наблюдается в коротковолновой области спектра (длина волны меньше 0,55 мкм). Это обстоятельство можно объяснить тем, что при электронно-лучевом испарении происходит частичное разложение

окислов в процессе их испарения, что может привести к попаданию поглощающих частиц в состав интерференционной пленки. Это предположение требует дальнейшего исследования.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01).

#### ЛИТЕРАТУРА

До Тан Тай, Губанова Л. А., Путилин Э. С., Фам Ван Хоа. Пятислойные четвертьволновые просветляющие покрытия для инфракрасного диапазона спектра // Оптический журнал. 2014. Т. 81, № 10. С. 72—76.

#### Сведения об авторах

**Тан Тай До**

— студент; Университет ИТМО, кафедра оптоинформационных технологий и материалов; E-mail: tantaído@yahoo.com

**Людмила Александровна Губанова**

— д-р техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра оптоинформационных технологий и материалов; E-mail: la7777@mail.ru

Рекомендована кафедрой  
оптоинформационных технологий  
и материалов

Поступила в редакцию  
12.03.15 г.

**Ссылка для цитирования:** До Тан Тай, Губанова Л. А. Пятислойное четвертьволновое просветляющее покрытие для видимой и ближней инфракрасной областей спектра // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 6. С. 498—500.

#### FIVE-LAYER QUARTER-WAVE ANTIREFLECTION COATING FOR THE VISIBLE AND NEAR INFRARED SPECTRAL RANGE

**Tan Tai Do, L. A. Gubanova**

*ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia*

*E-mail: la7777@mail.ru*

Practicable results of investigation of a five-layer quarter-wave antireflection coating are presented. The coating is shown to exhibit a low reflectance in the visible and near infrared spectral ranges.

**Keywords:** antireflection, five-layer quarter-wave coating, visible and near infrared spectral range.

#### Data on authors

**Tan Tai Do**

— Student; ITMO University, Department of Optoinformatic Technologies and Materials; E-mail: tantaído@yahoo.com

**Ludmila A. Gubanova**

— Dr. Sci., Associate Professor; ITMO University, Department of Optoinformatic Technologies and Materials; E-mail: la7777@mail.ru

**Reference for citation:** Do Tan Tai, Gubanova L. A. Five-layer quarter-wave antireflection coating for the visible and near infrared spectral range // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2015. Vol. 58, N 6. P. 498—500 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-6-498-500