

РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ В ОБЛАСТИ 8–12 МКМ

Никита Андреевич Гурин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант гр. АсОЭП-3, АО «Новосибирский приборостроительный завод», 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук 179/2, заместитель главного оптика, Институт автоматики и электрометрии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 1, и.о. инженера-исследователя, тел.8(923) 129-87-48, e-mail: gna200694@yandex.ru

Представлена разработка удовлетворяющего современным эксплуатационным требованиям просветляющего шестислойного покрытия для диапазона 8-12 мкм на основе анализа имеющихся в ОСТ 3-1901-95 просветляющих покрытий.

Ключевые слова: просветляющее покрытие, (ИК) область спектра, широкополосное просветляющее покрытие

DEVELOPMENT OF A BROADBAND BRIGHTENING COATING IN THE AREA OF 8–12 MICRONS

Nikita A. Gurin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, PhD Student; JSC "Novosibirsk Instrument-Making Plant", 179/2, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Deputy Chief Optician, Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 1, Akademik Koptyug Prospect, Novosibirsk, 630090, Russia, Acting Research Engineer, phone: 8(923) 129-87-48, e-mail: gna200694@yandex.ru

The design of six-layer antireflection coating that meets modern operational requirements for the 8-12 μm range based on the analysis of antireflection coatings available in OST 3-1901-95 is presented.

Keywords: antireflection coating, (IR) spectral region, broadband antireflection coating

Одной из важнейших задач, решаемых разработчиками оптических приборов и устройств для инфракрасной (ИК) области спектра – это расширение их рабочих спектральных диапазонов [1–2]. Решение данной задачи связано с рядом современных технических требований, обусловленных свойствами материалов, из которых изготавливаются оптические детали этих приборов, устройств и комплексов. Известно, что в диапазоне спектра от 8 мкм до 12 мкм оптические детали изготавливаются из прозрачных в данной области материалов, таких как германий (КГО, Ge), бескислородные стекла (например, ИКС-25), селенид цинка (ZnSe), имеющих достаточно высокий показатель преломления. При использовании большого количества таких элементов в оптической системе общее пропускание системы падает из-за потерь излучения при отражениях от поверхностей оптических деталей. Например, коэффициент отражения от поверхности германия (КГО) с показателем преломления $n = 4$ в ИК области составляет $R=37$

%, у бескислородного стекла (ИКС-25, $n = 2,7$) в ИК области $R=35$ %, у селенида цинка ($n=2,4$) в ИК области $R=29$ %. Поэтому для повышения светопропускания в ИК области оптических деталей необходимо наносить на детали просветляющие покрытия.

В отечественной оптической отрасли, в основном, применяют просветляющие покрытия в соответствии с ОСТ 3-1901-95 «Покрытия оптических деталей. Типы, основные параметры и методы контроля» [3]. Отметим, что некоторые нормативы ОСТ 3-1901-95 устарели и не обеспечивают соответствие современным техническим характеристикам, указанным в технических заданиях к приборам и устройствам. Так, большинство покрытий, заложенных в ОСТ 3-1901-95, имеют плохую устойчивость к климатическим воздействиям, малую механическую прочность, недостаточный коэффициент пропускания. В связи с этим, целью представленной работы является разработка удовлетворяющего современным эксплуатационным требованиям просветляющего покрытия для ИК диапазона 8-12 мкм на основе анализа имеющихся в ОСТе 3-1901-95 просветляющих покрытий.

Известно, что самый распространенный и простой метод просветления оптических деталей в данной области спектра – это нанесение однослойного просветляющего покрытия, оптическая толщина которого равна четверти основной длины волны рабочего спектра, а значение показателя преломления подбирается из условия минимального отражения света от покрытой поверхности [4–9]. Как правило, такие покрытия позволяют достичь хорошего просветления только на одной длине волны λ рабочего спектрального диапазона, значение коэффициента отражения R при этом равно

$$R = \frac{(n - n_1^2)^2}{(n + n_1^2)^2}, \quad (1)$$

где n_1 – показатель преломления материала, на которое наносится просветляющее покрытие, n – показатель преломления пленкообразующего материала, R – коэффициент остаточного отражения.

Если $n_1^2 = n$, то $R = 0$, и потери пропускания не происходит (коэффициент пропускания эталонной среды $T=100\%$), как показано на графике 1 рис. 1. Если $n_1^2 \neq n$, то с увеличением числа поверхностей, на которые наносится просветляющее покрытие, снижается пропускание системы (график 2 на рис. 1).

В качестве покрытия, устойчивого к агрессивным средам и обеспечивающего требуемый коэффициент пропускания, было выбрано шестислойное покрытие на основе оксида иттрия (Y_2O_3) с показателем преломления $n = 1,85$, сульфида цинка (ZnS) с показателем преломления $n = 2,38$, теллурида германия (GeTe) с показателем преломления $n = 6,1$ и бария фториттриата (BaY_2F_8) с показателем преломления $n = 1,52$. Реализация данного просветляющего покрытия осуществлялась путем нанесения шести слоев этих пленкообразующих материалов, причем во всех слоях с первого по шестой проводился как оптический кон-

троль по оптической толщине, так и кварцевый, измеряя их физическую толщину. Контроль оптических спектров пропускания и отражения в реальном масштабе времени осуществлялся спектрофотометром, встроенным в систему вакуумного технологического оборудования и управляемым портативным компьютером. В компьютер была установлена программа расчета конструкции просветляющего покрытия OptiLayer с визуальным изображением на экране монитора расчетных спектральных характеристик слоев покрытия, (все вычислительные и оптимизационные процессы основаны на классических аналитических формулах по расчету покрытий) для сопоставления измеренной зависимости показателя преломления от длины волны с заданной зависимостью и выдачи сигналов для автоматической корректировки режимов напыления: силы тока в нагревателях катода электронно-лучевых испарителей, скорости перемещения оптического элемента в зоне напыления, величины остаточного давления вакуума для уменьшения несовпадений измеренной и заданной зависимости показателя преломления от длины волны.

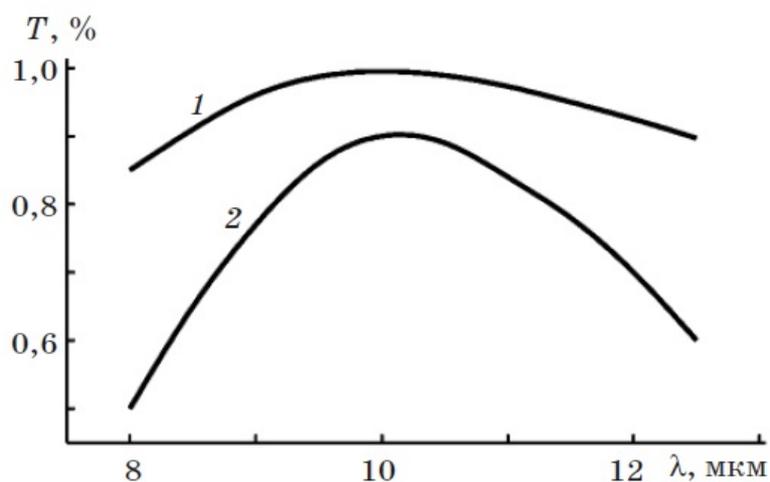


Рис. 1. Спектральная характеристика пропускания плоскопараллельной пластинки из германия (КГО) с однослойным просветляющим покрытием на основе сульфида цинка (ZnS). 1 – просветление с двух сторон одной плоскопараллельной пластинки. 2 – просветление трех плоскопараллельных пластинок с двух сторон

Чтобы достичь представленного на рис. 2 спектра отражения, требуется тщательное выполнение всей совокупности операций, использование рекомендованных средств и веществ, а именно: чистка полированной поверхности подложки органическими растворителями перед установкой в камеру вакуумного технологического оборудования (спирт или спиртоэфирная смесь), очистка тлеющим разрядом и параллельная термообработка (нагрев тэнами или ИК лампами) подложки до температуры 250-300°C, повышающие соединение тонкопленочного напыляемого материала с оптической деталью, то есть адгезионные

свойства наносимого тонкопленочного материала с материалом подложки и, следовательно, повышающие механическую прочность покрытия.

Операция прокалки и дегазации пленкообразующих материалов для нанесения пленки повысила качество испаряемого материала за счет избавления от примесей поверхностного слоя материала и, следовательно, снизила погрешность значений показателей преломления напыляемых материалов, от которой и зависит получение заданной спектральной характеристики [10]. Нанесение определенной последовательности пленкообразующих веществ слоями разной оптической толщины (неравнотолщинностью) позволило привести к минимуму остаточный коэффициент отражения от преломляющих поверхностей оптических компонентов, тем самым, снизить нижний предел значения коэффициента остаточного отражения от поверхности материала. На снижение остаточного коэффициента отражения в значительной степени воздействует число слоев пленкообразующих материалов, их толщина, а также последовательность нанесения материалов со средним и высоким показателем преломления и применение в качестве завершающего слоя материала с относительно невысоким показателем преломления. В случае обнаружения примесей в пленкообразующих материалах полученная взаимосвязь показателя преломления от длины волны λ будет иметь отклонения от расчетной зависимости [11].

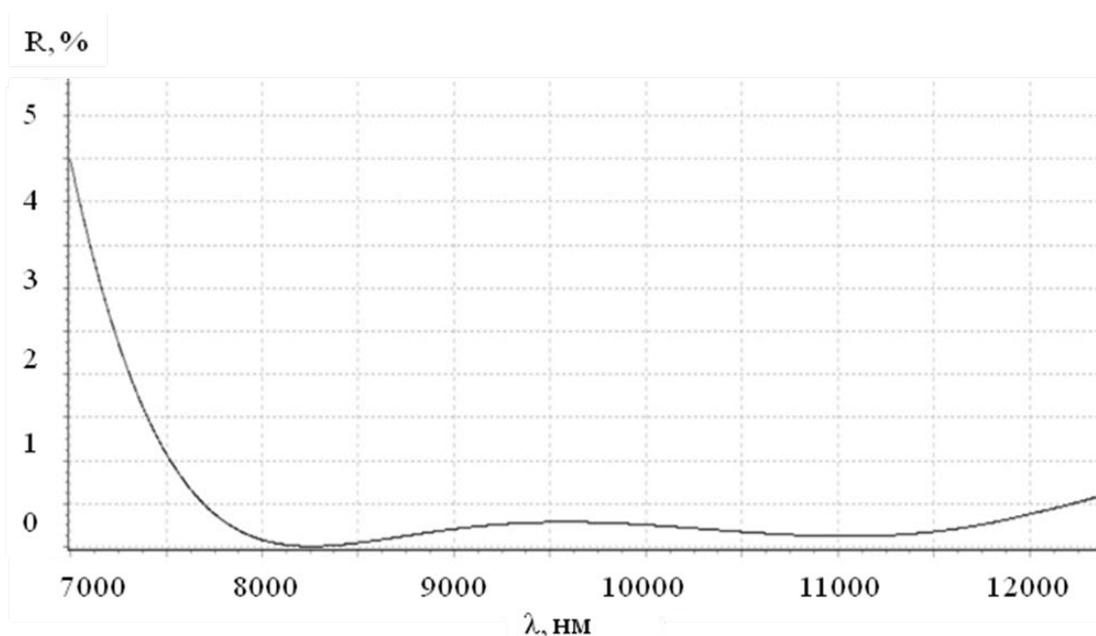


Рис. 2. Расчетная спектральная характеристика для КГО

Определение фактического значения показателя преломления и полученной зависимости этого показателя преломления от длины волны λ на каждом напыляемом слое в процессе нанесения покрытия контролировалось при помощи ИК-Фурье спектрофотометра. Это позволило осуществлять корректировку напыления в реальном времени во время процесса испарения пленкообразующего веще-

ства в камере вакуумного технологического оборудования, тем самым обеспечило контроль всего процесса напыления для снижения количества несоответствий фактических значений параметров с расчетными.

Контроль после напыления коэффициента отражения подложки проводился по образцу – свидетелю из германия КГО, который представлял собой плоскопараллельную пластинку (рис. 3), что позволило дополнительно проконтролировать полученные результаты (проверка пропускания и контроль на наличие поглощения в слоях) и отбраковать подложки с несоответствующими характеристиками.

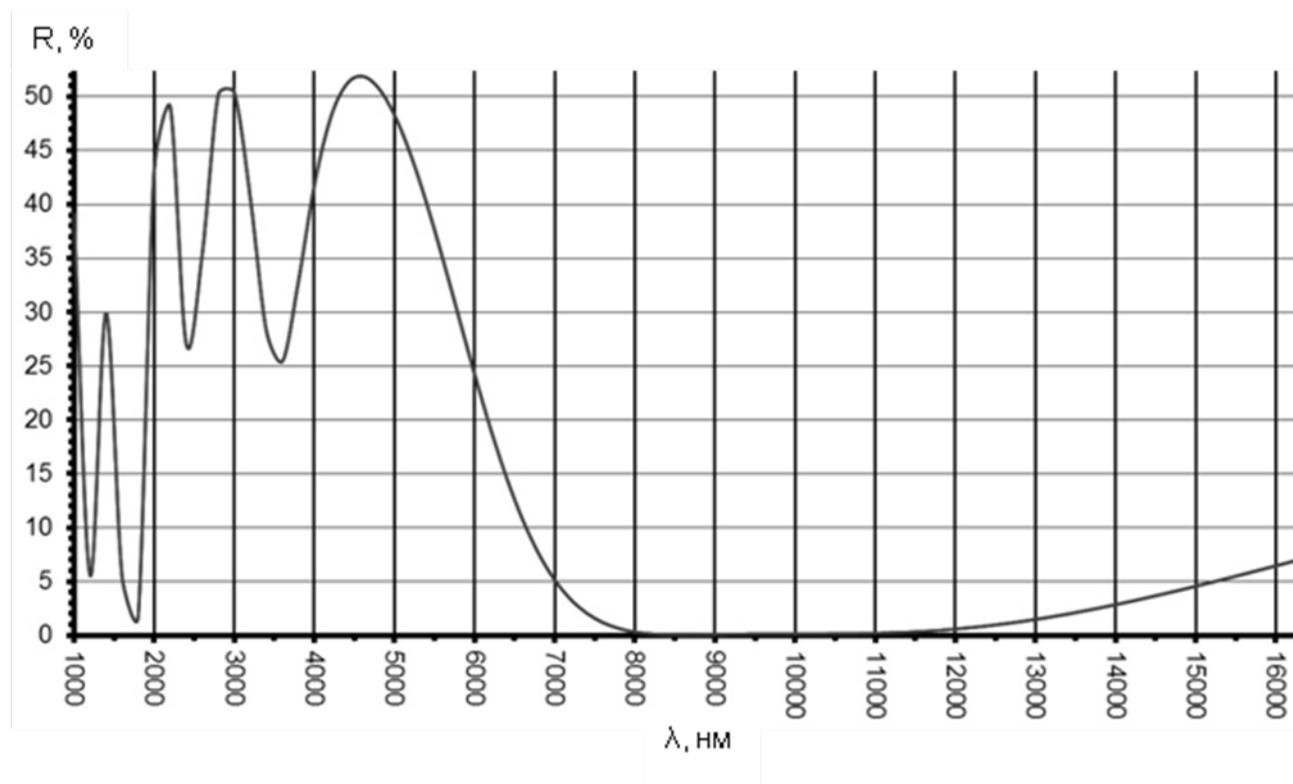


Рис. 3. Средний коэффициент отражения разработанного широкополосного просветляющего покрытия на плоскопараллельной пластинке из КГО

Физическая толщина шестислойного просветляющего покрытия для области 8–12 мкм, предназначенного для нанесения на оптические детали, изготовленные из германия КГО, не превышала 3 мкм. Данное покрытие было проверено по всем пунктам правил метода контроля по ОСТ 3-1901-95 с п. 7.1 по 7.8.4. У разработанного покрытия подтверждена 0 группа механической прочности и 1 группа по химической прочности и влагонепрочности. Очистка подложки и материалов для напыления, послойный контроль напыления и контроль по образцу-свидетелю гарантировали стабильное получение просветленных компонентов оптической системы с хорошими адгезионными свойствами и низким коэффициентом отражения, исключили появление деталей с несоответствующими оптико-физическими характеристиками в производстве оптических изделий из германия КГО.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современное состояние исследований и технические применения // Физика тонких пленок / под ред. Г. Хасса., Р. Э. Тун. – М.: Мир, 1972. – Т. 2. – 396 с.
2. Современное состояние исследований и технические применения // Физика тонких пленок / под ред. А. Г. Ждан, В. Б. Сандомирский. – М., 1978. – Т. 8. – 360 с.
3. ОСТ 3 – 1901 – 95. Покрытия оптических деталей. Типы, общие технические требования и методы контроля. // ВНИЦ "ГОИ им. С. И. Вавилова". – 1995.
4. Крылова Т. А. Интерференционные покрытия. – Л. : Машиностроение, 1973. – 224 с.
5. Берндт К.Г. Методы контроля и измерения толщины пленок и способы получения пленок, однородных по толщине // Физика тонких пленок / Под редакцией Г. Хасса. Том 3. М.: Мир, 1968. С.7.
6. Bezuidenhout D. The optical properties of YF₃ films / Thin Solid Films. – 1987. 155. – С. 17-30.
7. Гайнутдинов И. С., Несмелов Е. А., Хайбуллин И. Б. Интерференционные покрытия для оптического приборостроения. – Казань: изд. «ФЭН», 2002. – 592 с.
8. Кард П. Г. Анализ и синтез многослойных интерференционных пленок. – Таллин, Валгус, 1971.
9. Гайнутдинов И. С., Шувалов Н. Ю., Сабиров Р.С., Иванов В.А., Гареев В.А., Мирханов Н.Г. Просветляющие покрытия на подложках из германия и кремния в окнах прозрачности ИК области спектра 3-5 мкм и 8-12 мкм / Оптический журнал. – 2009. – Т. 76. – С. 68–72.
10. Гурин Н.А., Корольков В.П., Батомункуев Ю.Ц., Слесивцев Е.В. Методика записи масок по многослойным покрытиям (часть 1) // Сборник материалов Национальной конференции «СИБОПТИКА-2019». – 2019. – Т. 8.– С. 47-51.
11. Гурин Н.А., Корольков В.П., Батомункуев Ю.Ц., Слесивцев Е.В. Методика записи масок по многослойным покрытиям (часть 2) // Сборник материалов Национальной конференции «СИБОПТИКА-2020». – 2020. – Т. 8.– С. 134-137.

© Н. А. Гурин, 2021