ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71731— 2024

Оптика и фотоника

ДЕТАЛИ ОПТИЧЕСКИЕ

Типовые технологические процессы нанесения покрытий на оптические детали, применяемые в лазерных устройствах, для области спектра от 2500 до 14 000 нм

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт физической оптики, оптики лазеров и информационных оптических систем Всероссийского научного центра «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ФГУП «НИИФООЛИОС ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова») и Акционерным обществом «ЛОМО» (АО «ЛОМО»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 296 «Оптика и фотоника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 октября 2024 г. № 1503-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ДЕТАЛИ ОПТИЧЕСКИЕ

Типовые технологические процессы нанесения покрытий на оптические детали, применяемые в лазерных устройствах, для области спектра от 2500 до 14 000 нм

Optics and photonics. Optical details. Typical technological processes for coating optical parts used in laser devices for the spectrum range from 2500 to 14 000 nm

Дата введения — 2025—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на оптические детали (подложки с нанесенными покрытиями) (далее — детали) диаметром (диагональю) до 200 мм из фтористого кальция марки ФКИ, фтористого бария марки ФБИ, фтористого магния, лейкосапфира марки ЛИ, селенида цинка, поликристалла марки ПО4, германия, арсенида галлия монокристаллического, теллуристого кадмия и оптической керамики КО6, применяемые в лазерных устройствах, работающих в области спектра от 2500 до 14 000 нм, и устанавливает типовые технологические процессы (ТТП) нанесения на поверхности оптических деталей просветляющих, светоделительных и зеркальных покрытий (далее — покрытия) в вакууме способами электронно-лучевого и резистивного испарения (далее — вакуумным способом).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 3 Перчатки хирургические резиновые. Технические условия

ГОСТ 3.1121 Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции)

ГОСТ 12.1.005 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.007 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.016 Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентрации вредных веществ

ГОСТ 12.2.032 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

ГОСТ 12.2.033 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования

ГОСТ 12.2.061 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам

ГОСТ 5962 Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья. Технические условия

ГОСТ 24353 Фольга из платины, палладия и сплавов на их основе. Технические условия

ГОСТ 25142 Шероховатость поверхности. Термины и определения

ГОСТ Р 59739 Оптика и фотоника. Покрытия оптические. Классификация

Издание официальное

ГОСТ Р 71279—2024 Оптика и фотоника. Детали оптические. Типовые технологические процессы нанесения одно-, двух- и трехслойных просветляющих покрытий из растворов

ГОСТ Р 71570—2024 Оптика и фотоника. Детали оптические. Типовые технологические процессы нанесения одно-, двух- и трехслойных просветляющих покрытий на оптические детали из несиликатных химически неустойчивых стекол

ГОСТ Р 71571—2024 Оптика и фотоника. Детали оптические. Типовой технологический процесс нанесения диэлектрических многослойных отражающих и светоделительных покрытий

ГОСТ Р 71572—2024 Оптика и фотоника. Детали оптические. Общие требования к типовым технологическим процессам нанесения оптических покрытий вакуумным способом

ГОСТ Р 71573—2024 Оптика и фотоника. Детали оптические для твердотельных лазеров. Типовые технологические процессы нанесения покрытий

ГОСТ Р 71575 Оптика и фотоника. Детали оптические. Типовой технологический процесс чистки

ГОСТ Р ИСО 9211-1 Оптика и оптические приборы. Покрытия оптические. Часть 1. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и обозначения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р ИСО 9211-1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **отражающее покрытие:** Многослойное диэлектрическое покрытие с коэффициентом отражения не менее 99 %.

3.1.2 **светоделительное покрытие:** Многослойное диэлектрическое покрытие с коэффициентом отражения менее 99 %.

3.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

h — толщина слоя покрытия;

k — множитель толщины слоя;

m — кратность повторения слоя;

n — показатель преломления покрытия (слоя);

n_D — показатель преломления стекла;

nh — оптическая толщина покрытия (слоя);

t — температура термической обработки (далее — термообработки);

α — угол падения;

λ — длина волны;

λ_0 — центральная длина волны;

$\lambda(\rho_{min})$ — длина волны, соответствующая минимальному отражению;

$\lambda(\rho_{max})$ — длина волны, соответствующая максимальному отражению;

ρ — энергетический коэффициент направленного отражения;

$\rho(\lambda_{min})$ — коэффициент отражения на длине волны соответствующей минимуму коэффициента спектрального отражения;

$\rho(\lambda_{max})$ — коэффициент отражения на длине волны соответствующей максимуму коэффициента спектрального отражения;

ρ^s — коэффициент отражения излучения поляризованного в плоскости перпендикулярной к плоскости падения (*s*- и *p*-поляризации) по ГОСТ Р 59739;

ρ^p — коэффициент отражения излучения поляризованного в плоскости падения (*s*- и *p*-поляризации) по ГОСТ Р 59739;

Ra — среднее арифметическое отклонение профиля по ГОСТ 25142.

Графические обозначения оптических покрытий:

⊗ — просветляющие покрытия;

⦶ — зеркальные покрытия;

⊖ — светоделительные покрытия.

4 Технические требования

Общие требования должны соответствовать ГОСТ Р 71572.

4.1 Требования к подготовке оборудования и технологической оснастке — по ГОСТ Р 71572—2024 (подраздел 4.4).

4.2 Требования к деталям и материалам

4.2.1 Требования к деталям и материалам — по ГОСТ Р 71572—2024 (подраздел 4.2).

4.2.2 Разность значений наружного диаметра детали *D* и ее светового диаметра $0_{Ø}$ должна быть не менее указанного в таблице 1.

Таблица 1

D, мм	$D - 0_{Ø}$, мм
До 20 включ.	2
Св. 20 до 50 включ.	3
» 50 » 100 »	5
» 100 » 200 »	6

4.3 Требования к технологическому оснащению

4.3.1 Оборудование, технологическая оснастка, измерительные приборы и инструменты, применяемые при проведении ТТП нанесения покрытий вакуумным способом — по ГОСТ Р 71572—2024 (подраздел 4.3).

4.3.2 Вакуумная установка должна быть снабжена электронно-лучевым испарителем мощностью не менее 6 кВт и резистивными испарителями (не менее двух).

4.3.2.1 Конструкцию испарителей следует выбирать в зависимости от пленкообразующих материалов для нанесения покрытий:

а) для испарения сульфида цинка, селенида цинка, трехсернистого мышьяка и фторида магния следует применять испаритель из вольфрамовой фольги с массовой долей молибдена более 99,931 % или молибденовой фольги с массовой долей молибдена более 99,948 % толщиной (0,050 ± 0,005) мм, длиной от 40 до 50 мм, шириной от 10 до 15 мм и высотой до 10 мм;

б) для фторида магния допускается применять электронно-лучевой испаритель;

в) для испарения оксида алюминия следует применять электронно-лучевой испаритель;

г) для испарения свинца двухфтористого следует применять испаритель из платиновой фольги толщиной 0,1 мм по ГОСТ 24353, длиной от 40 до 50 мм, шириной от 10 до 15 мм, высотой до 10 мм или электронно-лучевой испаритель (для покрытий, к которым предъявляются требования по лазерной

прочности) и из графитовой ткани (для покрытий, к которым не предъявляются требования по лазерной прочности).

4.3.3 Разность температур нагрева поверхностей детали не должна превышать 30 °С — 100 °С в зависимости от конструкции покрытия (устанавливается экспериментально). Если наблюдается разрушение покрытий первой поверхности детали в процессе его нанесения на вторую, допускается осуществлять нагрев детали со стороны поверхности, на которую наносится покрытие.

4.3.4 Для получения равномерных по толщине покрытий на деталях, для которых отношение диаметра D к радиусу кривизны r должно быть не более 1, отношение R/H (где R — радиус, равный расстоянию от оси вращения куполообразного держателя до испарителя; H — расстояние от плоскости держателя до испарителя) должно составлять от 0,32 до 0,36 при электронно-лучевом испарении и от 0,40 до 0,42 — при резистивном испарении (уточняется экспериментально).

4.3.5 Оправы для подложек следует изготавливать из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, алюминиевого сплава марок Д16Т, АМц или алюминия, параметр шероховатости Ra поверхностей должен быть не более 0,25 мкм определяемой на базовой длине 0,25 мм.

4.4 Требования к покрытиям

4.4.1 Просветляющие покрытия должны состоять из одного слоя или двух слоев равной или неравной оптической толщины.

Условные обозначения светоделительных, зеркальных и просветляющих покрытий — по ГОСТ Р 71570—2024 (приложение А).

4.4.2 Светоделительные и зеркальные покрытия должны состоять из чередующихся слоев с высоким и низким показателями преломления оптической толщиной $nh = \lambda_0/4$, где $\lambda_0 = \lambda_{max}$ — заданная длина волны, для которой коэффициент отражения должен быть максимальным.

Оптическая толщина nh последнего слоя должна быть в пределах $\lambda_0/4 \le nh \le \lambda_0/2$ или $nh \le \lambda_0/4$ в зависимости от требований к коэффициенту отражения, механической прочности и влагопрочности покрытия.

4.4.3 Покрытия, которые следует наносить на подложки в зависимости от материала подложки и области спектра, и их оптические характеристики приведены в таблице 2.

4.4.4 Расчетные значения максимального коэффициента отражения $\rho(\lambda_{max})$ светоделительных и зеркальных покрытий в зависимости от числа слоев для углов падения $\alpha = 0°$ и $\alpha = 45°$ неполяризованного и поляризованного потоков излучения приведены в приложении А (при $k = 1$ и $k = 2$).

Для получения промежуточных значений коэффициента отражения оптическую толщину nh последнего слоя покрытий следует изменять в пределах $\lambda/4 \le nh \le \lambda_0/2$, если последний слой является защитным, и $nh < \lambda_0/4$ — для покрытий без защитного слоя (подбирают экспериментально).

4.4.5 Типовые спектральные кривые коэффициентов отражения и пропускания покрытий приведены приложении Б.

4.4.6 Оптические толщины слоев nh покрытий, работающих при наклонном падении потока излучения (угол падения α), следует определять по формуле

$$n_1h_1 = n_2h_2 = \lambda_0/8\cdot(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2)/(\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2), \quad (1)$$

где α_1 и α_2 — углы преломления излучения в слоях, определяемые по закону преломления.

При этом значение длины волны λ_0', соответствующей максимальному значению коэффициента отражения при падении потока излучения под углом $\alpha = 0°$, следует определять по формуле

$$\lambda_0' = \lambda_0/2\cdot(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2)/(\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2), \quad (2)$$

где λ_0 — длина волны, соответствующая $\rho(\lambda_{max})$ при угле падения α.

Таблица 2

Условное обозначение	Материал подложки	Температура нагрева подложки, °С	Область спектра, нм	Оптические характеристики
⊗ 24Ит или ⊗ 24ИЭt	Лейкосапфир	300	2500—5000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 1 %
⊗ 29Ит или ⊗ 29ИЭt	Германий	150	2500—11 000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 1 % ($\alpha = 0°$); $\rho(\lambda_{min})$ не более 2,5 % ($\alpha = 45°$)
⊗ 37Ит	ИКС25; ИКС29; ИКС30	90	2500—14 000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 0,3 % ($\alpha = 0°$) для покрытий на подложках из ИКС, К06 и теллуристого кадмия
	ИКС34; КО6	150		
	ПО4; селенид цинка; теллуристый кадмий	150	2500—14 000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 0,5 % ($\alpha = 0°$) для покрытий на подложках из ПО4, селенида цинка; $\rho(\lambda_{min})$ не более 1,0 % ($\alpha = 45°$) для покрытий на подложках из ИКС, К06, теллуристого кадмия; $\rho(\lambda_{min})$ не более 1,5 % ($\alpha = 45°$) для покрытий на подложках из ПО4, селенида цинка
⊗ 35ИЭt	ИКС25; ИКС29; ИКС30	90	2500—8000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 0,4 %
	К06; П04; селенид цинка	150		
⊗ 37И·0,26:39И·0,567 :t	Арсенид галлия	150	2500—11 000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 0,5 % ($\alpha = 0°$); $\rho(\lambda_{min})$ не более 1,0 % ($\alpha = 45°$)
⊗ 39И·0,36:37И·1,41	Фтористый барий	—	2500—11 000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 0,3 %
⊗ 39И·0,38:37И·1,31	Фтористый магний; фтористый кальций	—	2500—11 000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 0,3 %
⊗ 122И·0,52:37И·1,31	Фтористый барий	—	2500—11 000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 0,3 %
⊗ 122И·0,47:37И·1,33	Фтористый магний; фтористый кальций	—	2500—11 000	$\rho(\lambda_{min})$ не более 0,3 %

Окончание таблицы 2

Условное обозначение	Материал подложки	Температура нагрева подложки, °С	Область спектра, нм	Оптические характеристики
⊖ (39И:37И)×*m*:37И·*k*, где *m* = 1 – 8, 0 ≤ *k* ≤ 1	Фтористый магний; фтористый кальций; фтористый барий; лейкосапфир	—	2500—11 000	$\rho(\lambda_{min})$ = (60,0 % — 99,0 %) (см. таблицы А.1 и А.2)
⊖ (39И:37И)×*m*:37И·*k*, где *m* = 1 – 8, 0 ≤ *k* ≤ 1	Фтористый магний; фтористый кальций; фтористый барий; лейкосапфир	—	2500—11 000	$\rho(\lambda_{min})$ = (60,0 % — 99,0 %) (см. таблицы А.1 и А.2)
⊖ 37И:(39И:37И)×*m*:39И·*k*, где *m* = 1 – 9, 0 ≤ *k* ≤ 1	Селенид цинка; П04; германий	—	2500—11 000	$\rho(\lambda_{max})$ = (43,0 % — 99,0 %) (см. таблицы А.3 и А.4)
⊖ (122И:37И)×*m*:122И:37И·*k*, где *m* = 1 – 8, 0 ≤ *k* ≤ 2	Фтористый магний; фтористый кальций; фтористый барий; лейкосапфир	—	2500—11 000	$\rho(\lambda_{max})$ = (49,0 % — 98,0 %) для области спектра 2500—6000 нм, $\rho(\lambda_{max})$ = (49,0 % — 85,0 %) для области спектра 9000—11 000 нм, (см. таблицы А.1 и А.2)
⊖ (39И:122И)×*m*:37И·*k*, где *m* = 1 – 9, 0 ≤ *k* ≤ 2	Селенид цинка; П04; германий	—	2500—11 000	$\rho(\lambda_{max})$ = (37,0 % — 98,0 %) для области спектра 2500—6000 нм, $\rho(\lambda_{max})$ = (37,0 % — 85,0 %) для области спектра 9000—11 000 нм, (см. таблицы А.3 и А.4)
⊖ (39И·0,676:37И·1,33)×*m*:(39И·0,67), где *m* = 1 – 9	Фтористый барий	—	2500—11 000	Для λ_1 и λ_2 одновременно (λ_2 / λ_1 = 2) $\rho(\lambda_{1max})$ = $\rho(\lambda_{2max})$ = = (52,0 % — 98,0 %) (см. таблицу А.5)
⊖ (37И·1,33:39И·0,67)×*m*, где *m* = 1 – 9	Селенид цинка	—	2500—11 000	Для λ_1 и λ_2 одновременно (λ_2 / λ_1 = 2) $\rho(\lambda_{1max})$ = $\rho(\lambda_{2max})$ = = (52,00 % — 98,0 %) (см. таблицу А.6)

Примечания

1 В данной таблице применимы следующие обозначения пленкообразующих материалов:

24 — магний фтористый (MgF_2 — фторид магния);
35 — окись алюминия (Al_2O_3 — оксид алюминия);
29 — цинк сернистый (ZnS — сульфид цинка);
39 — цинк селенистый (ZnSe — селенид цинка);
37 — свинец двухфтористый (PbF_2 — фторид свинца (II));
122 — мышьяк трехсернистый (As_2S_3 — сульфид мышьяка (III)).

2 В данной таблице знаком «×» обозначается кратность повторения части конструкции.

Примечание — При использовании светоделительных покрытий для зеркал знак ⊖ в условном обозначении следует заменить на ⊘.

5 Требования безопасности

5.1 Требования безопасности — по ГОСТ Р 71571—2024 (раздел 9) и ГОСТ Р 71573—2024 (раздел 9).

5.2 Общие требования к организации рабочих мест должны соответствовать ГОСТ 12.2.061.

Требования к организации рабочих мест при работе сидя должны соответствовать ГОСТ 12.2.032.

Требования к организации рабочих мест при работе стоя должны соответствовать ГОСТ 12.2.033.

5.3 Перечень химических вредных веществ, применяемых или получаемых при выполнении ТТП нанесения покрытий, значения их предельно-допустимых концентраций (ПДК) в воздухе рабочей зоны и класс опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.005 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м^3	Класс опасности
Окись алюминия	2	4
Кислота азотная	5	2
Кислота соляная	5	2
Магний фтористый	1	3
Мышьяк трехсернистый (в пересчете на мышьяк)	0,003	2
Свинец двухфтористый	0,01	1
Спирт этиловый	1000	4
Цинк сернистый	2	3
Цинк селенистый	5	3

Методы определения ПДК вредных веществ должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.016.

5.4 Пленкообразующие материалы (свинец фтористый, мышьяк трехсернистый, цинк селенистый, цинк сернистый, магний фтористый) являются токсичными, пожаровзрывобезопасными веществами.

Отходы пленкообразующих материалов следует утилизировать в соответствии с техническими условиями на эти материалы и действующими на предприятиях инструкциями по технике безопасности при работе с химическими веществами.

5.5 Требования безопасности при работе с химическими вредными веществами должны соответствовать ГОСТ 12.1.007.

5.6 После прекращения процесса распыления и отключения электропитания испарителей должна быть проведена прокачка вакуумной камеры для удаления аэрозолей пленкообразующих материалов и химических веществ образованных их соединениями.

5.7 Для защиты глаз от повышенной яркости источника испарения следует применять защитные очки со светофильтрами или стекло марки НС9 на окнах вакуумной камеры.

6 Последовательность выполнения технологических операций по нанесению покрытий

6.1 Требования к ТТП — по ГОСТ Р 71572—2024 (раздел 6).

6.2 Режимы нанесения покрытия (определение скорости конденсации слоев, настройку системы контроля толщин слоев в процессе нанесения и градуировку нагревателей) следует подбирать предварительно на контрольных образцах.

6.3 При выполнении операции подготовки поверхности подложки к нанесению покрытия подложки следует чистить осушенным и перегнанным спиртом в соответствии с ГОСТ Р 71279—2024 (подраздел 7.9).

Допускается чистить подложки (за исключением подложек из германия) погружением в кювету с перегнанным спиртом на время не менее 30 мин.

Допускается чистить подложки из германия погружением в кювету с концентрированной соляной кислотой на время от 1 до 2 мин с последующей промывкой проточной дистиллированной водой и спиртом.

6.4 Последовательность выполнения операции нанесения покрытия следует устанавливать в зависимости от числа слоев покрытия, способа его нанесения и конструкции оборудования.

6.5 Перед операцией нанесения покрытия следует:

- проверить правильность юстировки устройства фотометрического контроля;
- установить монохроматизирующий элемент фотометрического устройства в положение, соответствующее значению длины волны, выбранной для контроля оптической толщины наносимого слоя;
- установить контрольные образцы для контроля оптической толщины слоев покрытия (далее — образцы для контроля толщины) в держатель контрольных образцов в необходимом количестве. Контроль толщины каждого слоя покрытия следует проводить по отдельному образцу для контроля толщины, изготовленному из стекла марки К8, кварцевого стекла или стекла с высоким показателем преломления (например, марки ТФ5). При нанесении светоделительных и зеркальных покрытий допускается проводить контроль толщины нескольких слоев покрытия по одному образцу для контроля толщины;
- поместить в испарители, количество которых устанавливается при подборе режима, необходимые пленкообразующие материалы с помощью пинцета, распределяя таблетки или гранулы равномерно в объеме испарителя.

6.6 Скорости конденсации слоев и рабочее давление в камере при нанесении покрытия в зависимости от используемых пленкообразующих материалов должны соответствовать указанным в таблице 4.

Таблица 4

Пленкообразующий материал	Скорость конденсации слоя, нм/мин	Давление в камере,мм рт.ст.
Окись алюминия	50 ± 10	$(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$
Магний фтористый	140 ± 40	$(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$
Мышьяк трехсернистый	140 ± 40	$(7 \pm 1) \cdot 10^{-6}$
Свинец двухфтористый	140 ± 40	$(7 \pm 1) \cdot 10^{-6}$
Цинк сернистый	140 ± 40	$(7 \pm 1) \cdot 10^{-6}$
Цинк селенистый	90 ± 30	$(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$

6.7 При нанесении покрытия на нагретую подложку время выдержки подложки при рабочем значении температуры в зависимости от ее размера должно соответствовать указанному в таблице 5.

Таблица 5

Диаметр подложки, мм	Толщина подложки, мм	Время выдержки, ч, не менее
До 50 включ.	До 5 включ.	1,0
Св. 50 до 100 включ.	Св. 5 до 10 включ.	1,5
Св. 100 до 200 включ.	Св. 10	2,0

6.7.1 Время выдержки подложки в камере после выключения нагревателей устанавливают предварительно при подборе режима нанесения.

Допускается заполнять камеру воздухом при снижении температуры подложки до значения не более 50 °С.

6.8 Пример выполнения переходов по операциям ТТП нанесения двухслойного покрытия на не нагретую подложку приведен на картах ТТП согласно ГОСТ 3.1121 (см. приложение В).

На картах ТТП при указании режимов используют следующие буквенные обозначения:

f — частота вращения держателей подложек;

J — сила тока;

t — температура;

U — напряжение;

T — время выдержки;

V — скорость конденсации слоя.

6.9 В ТТП нанесения однослойного и многослойного покрытий на не нагретую и нагретую подложки операцию подготовки поверхности подложки следует выполнять в соответствии с 6.8 и картой ТТП и по 6.3 и переходам 1—5 карты ТТП.

6.10 В ТТП нанесения однослойного покрытия на не нагретую подложку операцию нанесения покрытия следует выполнять в соответствии с 6.8 и картой ТТП по переходам 1—16 и 25—31 карты ТТП.

6.11 В ТТП нанесения многослойного покрытия на не нагретую подложку операцию нанесения покрытия следует выполнять в соответствии с 6.8 и картой ТТП: первые два слоя — по переходам 1—24 карты ТТП и далее последующие слои аналогичным образом. После нанесения последнего слоя и включения испарителя следует выполнить переходы 25—31 карты ТТП.

Примечания

1 При повторном включении испарителя обезгаживание пленкообразующего материала не проводят.

2 При использовании нового испарителя проводят обезгаживание пленкообразующего материала согласно переходу 20.

6.12 В ТТП нанесения двухслойного покрытия на нагретую подложку операцию нанесения покрытия следует выполнять в соответствии с картой ТТП.

6.13 В ТТП нанесения однослойного покрытия на нагретую подложку операцию нанесения покрытия следует выполнять в следующей последовательности: по 6.12 и переходам 1—4 карты ТТП; по 6.8 и переходам 3—16 карты ТТП и далее — по 3.12 и переходам 6—8 карты ТТП.

6.14 В ТТП нанесения многослойного покрытия на нагретую подложку операцию нанесения покрытия следует выполнять в соответствии с 6.12 и картой ТТП: первые два слоя по переходам 1—5 и далее последующие слои аналогичным образом с учетом примечаний 6.11. После нанесения последнего слоя и выключения испарителя следует выполнять переходы 6—8 карты ТТП.

7 Методы контроля

Контроль подготовки поверхности детали к нанесению покрытия, контроль толщины слоев в процессе нанесения покрытий и контроль детали после нанесения покрытия — по ГОСТ Р 71572—2024 (раздел 7).

Приложение А
(справочное)

Расчетные значения максимального коэффициента отражения светоделительных и зеркальных покрытий

А.1 Расчетные значения максимального коэффициента отражения $\rho(\lambda_{max})$ светоделительных и зеркальных покрытий (39И:37И)×*m*:39И·*k* и (122И:37И)×*m*:122И:37И·*k* на деталях из фтористого бария, фтористого кальция и фтористого магния в зависимости от числа слоев для углов $\alpha = 0°$ и $\alpha = 45°$ неполяризованного и поляризованного потоков излучения приведены в таблице А.1.

Таблица А.1

Число слоев	(39И:37И)×*m*:39И·*k*, где *m* = 1—8; *k* = 1				(122И:37И)×*m*:122И:37И·*k*, где *m* = 1—8; *k* = 2			
	$\alpha = 0°$	$\alpha = 45°$			$\alpha = 0°$	$\alpha = 45°$		
	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$
3	60,50	73,90	43,00	58,45	—	—	—	—
4	—	—	—	—	49,30	64,30	31,60	47,95
5	78,10	87,50	63,20	75,35	—	—	—	—
6	—	—	—	—	66,40	79,10	48,50	63,80
7	88,60	94,30	77,80	86,05	—	—	—	—
8	—	—	—	—	78,80	88,20	63,20	75,70
9	94,20	97,40	87,10	92,25	—	—	—	—
10	—	—	—	—	87,00	93,50	74,60	84,05
11	97,10	98,80	92,70	95,75	—	—	—	—
12	—	—	—	—	92,20	96,50	83,00	89,75
13	97,90	99,50	95,90	97,70	—	—	—	—
14	—	—	—	—	95,40	98,10	88,80	93,45
15	99,30	99,70	97,70	98,70	—	—	—	—
16	—	—	—	—	97,30	99,00	92,70	95,85
17	99,70	99,90	98,80	99,35	—	—	—	—
18	—	—	—	—	98,40	99,50	95,30	97,40
19	99,90	99,90	99,50	99,70	—	—	—	—

А.2 Расчетные значения максимального коэффициента отражения светоделительных и зеркальных покрытий (39И:37И)×*m*:39И·*k* и (122И:37И)×*m*:122И:37И·*k* на деталях из лейкосапфира в зависимости от числа слоев для углов $\alpha = 0°$ и $\alpha = 45°$ неполяризованного и поляризованного потоков излучения приведены в таблице А.2.

Таблица А.2

Число слоев	(39И:37И)×*m*:39И·*k*, где *m* = 1—8; *k* = 1				(122И:37И×*m*:122И:37И·*k*, где *m* = 1—8; *k* = 2			
	$\alpha = 0°$	$\alpha = 45°$			$\alpha = 0°$	$\alpha = 45°$		
	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$
3	53,90	67,50	37,30	52,40	—	—	—	—
4	—	—	—	—	41,70	56,80	25,80	41,30
5	73,80	84,10	58,60	71,35	—	—	—	—

Окончание таблицы А.2

Число слоев	(39И:37И)×*m*:39И·*k*, где *m* = 1—8; *k* = 1				(122И:37И×*m*:122И:37И·*k*, где *m* = 1—8; *k* = 2			
	α = 0°	α = 45°			α = 0°	α = 45°		
	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$
6	—	—	—	—	60,40	73,70	42,90	58,30
7	85,70	92,60	74,60	83,60	—	—	—	—
8	—	—	—	—	74,60	85,0	58,50	71,75
9	92,90	96,70	85,20	90,95	—	—	—	—
10	—	—	—	—	84,30	91,70	71,10	81,40
11	96,40	98,50	91,60	95,55	—	—	—	—
12	—	—	—	—	90,50	95,50	80,50	88,00
13	98,20	99,30	95,30	97,30	—	—	—	—
14	—	—	—	—	95,40	98,10	88,80	93,45
15	99,10	99,80	97,40	98,60	—	—	—	—
16	—	—	—	—	97,30	99,00	92,70	95,85
17	99,60	99,90	98,50	99,20	—	—	—	—
18	—	—	—	—	98,40	99,50	95,30	97,40
19	99,80	99,90	99,30	99,60	—	—	—	—

А.3 Расчетные значения максимального коэффициента отражения светоделительных и зеркальных покрытий 37И:(39И:37И)×*m*:39И·*k* и (37И:122И)×*m*:37И·*k* на деталях из селенида цинка в зависимости от числа слоев для углов α = 0° и α = 45° неполяризованного и поляризованного потоков излучения приведены в таблице А.3.

Таблица А.3

Число слоев	37И:(39И:37И)×*m*:39И·*k*, где *m* = 0—9; *k* = 1				(37И:122И)×*m*:37И·*k*, где *m* = 1—9; *k* = 2			
	α = 0°	α = 45°			α = 0°	α = 45°		
	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$
2	43,90	58,30	28,30	43,30	—	—	—	—
3	—	—	—	—	37,50	51,80	22,70	37,25
4	66,90	78,70	50,70	64,70	—	—	—	—
5	—	—	—	—	56,90	70,60	39,60	55,1
6	82,10	90,00	69,00	79,50	—	—	—	—
7	—	—	—	—	72,10	83,10	55,70	69,40
8	90,70	95,40	81,60	88,50	—	—	—	—
9	—	—	—	—	82,60	90,60	69,00	79,80
10	95,30	98,00	89,40	93,70	—	—	—	—
11	—	—	—	—	89,50	94,50	78,00	86,25
12	97,70	99,10	94,00	96,55	—	—	—	—
13	—	—	—	—	93,70	97,20	86,00	91,60

Окончание таблицы А.3

Число слоев	37И:(39И:37И)×*m*:39И·*k*, где *m* = 0—9; *k* = 1				(37И:122И)×*m*:37И·*k*, где *m* = 1—9; *k* = 2			
	α = 0°	α = 45°			α = 0°	α = 45°		
	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$
14	98,80	99,60	96,70	98,15	—	—	—	—
15	—	—	—	—	96,20	98,50	90,60	94,55
16	99,40	99,80	98,20	99,00	—	—	—	—
17	—	—	—	—	97,80	99,20	94,00	96,60
18	99,70	99,90	99,00	99,00	—	—	—	—
19	—	—	—	—	98,70	99,60	96,20	97,90

А.4 Расчетные значения максимального коэффициента отражения светоделительных и зеркальных покрытий 37И:(39И:37И)×*m*:39И·*k* и (37И:122И)×*m*:37И·*k* на деталях из германия в зависимости от числа слоев для углов α = 0° и α = 45° неполяризованного и поляризованного потоков излучения приведены в таблице А.4.

Таблица А.4

Число слоев	37И:(39И:37И)×*m*:39И·*k*, где *m* = 0—9; *k* = 1				(37И:122И)×*m*:37И·*k*, где *m* = 1—9; *k* = 2			
	α = 0°	α = 45°			α = 0°	α = 45°		
	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$	$\rho^s(\lambda_{max})$	$\rho^p(\lambda_{max})$	$\rho(\lambda_{max})$
2	60,90	72,70	46,10	59,40	—	—	—	—
3	—	—	—	—	55,60	67,90	40,40	54,15
4	78,40	86,80	65,60	76,60	—	—	—	—
5	—	—	—	—	71,10	81,40	56,40	68,90
6	88,70	93,90	79,30	86,60	—	—	—	—
7	—	—	—	—	82,00	89,60	69,50	79,55
8	94,30	97,30	88,10	92,70	—	—	—	—
9	—	—	—	—	89,10	94,30	79,30	86,80
10	97,10	98,80	93,30	96,05	—	—	—	—
11	—	—	—	—	93,50	96,90	86,30	91,60
12	98,60	99,50	96,20	97,85	—	—	—	—
13	—	—	—	—	96,10	98,40	91,00	94,70
14	99,30	99,70	97,90	98,80	—	—	—	—
15	—	—	—	—	97,70	99,10	94,00	96,55
16	99,70	99,90	98,90	99,40	—	—	—	—
17	—	—	—	—	98,70	99,50	96,20	97,85
18	99,80	99,90	99,40	99,65	—	—	—	—
19	—	—	—	—	99,20	99,80	97,60	98,70

А.5 Расчетные значения максимального коэффициента отражения светоделительных и зеркальных покрытий (39И·k_1:37И·k_2)×*m*:39И·k_1 на деталях из фтористого бария в зависимости от числа слоев для углов α = 0° и α = 45° неполяризованного и поляризованного потоков излучения для двух длин волн λ_1 и λ_2 приведены в таблице А.5; покрытий (39И·k_1:37И·k_2)×m на деталях из селенида цинка — в таблице А.6.

Таблица А.5

Число слоев	$(39И \cdot k_1 : 37И \cdot k_2) \times m : 39И \cdot k_1$, где m = 0—9; k_1 = 0,67; k_2 = 1,33							
	$\alpha = 0°$		$\alpha = 45°$					
	$\rho(\lambda_{max})$		$\rho^s(\lambda_{max})$		$\rho^p(\lambda_{max})$		$\rho(\lambda_{max})$	
	λ_1	λ_2	λ_1	λ_2	λ_1	λ_2	λ_1	λ_2
3	52,80	52,60	67,30	69,70	35,60	38,20	51,45	53,95
5	71,10	70,90	81,40	83,70	53,10	56,80	67,25	70,25
7	83,30	83,50	89,60	91,70	67,80	71,70	78,70	81,70
9	90,60	90,50	94,70	95,90	78,90	82,20	86,80	89,50
11	94,80	94,80	97,20	98,00	86,50	89,10	91,85	96,20
13	97,10	97,10	98,60	99,00	91,50	93,40	95,05	96,20
15	98,40	98,40	99,30	99,50	94,70	96,10	97,00	97,80
17	99,20	99,20	99,60	99,80	96,70	97,70	98,15	98,75
19	99,50	99,50	99,80	99,90	98,00	98,60	98,90	99,25

Таблица А.6

Число слоев	$(39И \cdot k_1 : 37И \cdot k_2) \times m$, где m = 1—9; k_1 = 1,33; k_2 = 0,67							
	$\alpha = 0°$		$\alpha = 45°$					
	$\rho(\lambda_{max})$		$\rho^s(\lambda_{max})$		$\rho^p(\lambda_{max})$		$\rho(\lambda_{max})$	
	λ_1	λ_2	λ_1	λ_2	λ_1	λ_2	λ_1	λ_2
2	38,60	38,70	51,20	53,60	22,60	24,50	36,90	39,05
4	59,70	59,70	70,70	73,70	40,80	44,20	60,75	58,95
6	75,50	75,50	83,60	86,20	57,90	62,10	70,75	74,15
8	85,90	85,90	91,20	93,00	71,50	75,60	81,35	84,30
10	92,10	92,10	95,40	96,50	81,40	84,80	90,10	90,65
12	95,60	95,60	97,60	98,30	88,30	90,80	92,95	96,80
14	97,60	97,60	98,70	99,20	92,50	94,40	95,60	96,80
16	98,70	98,70	99,40	99,60	95,30	96,70	97,35	98,15
18	99,30	99,30	99,70	99,80	97,10	98,00	98,70	99,90

Приложение Б
(справочное)

Типовые спектральные кривые коэффициентов отражения ρ(λ) и пропускания τ(λ) покрытий

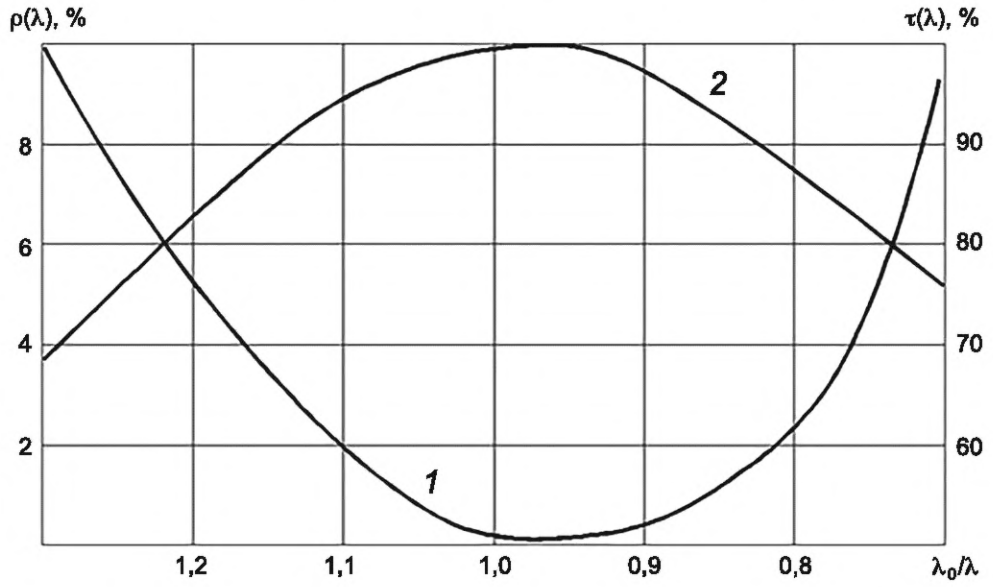


Рисунок Б.1 — Спектральные кривые коэффициентов отражения (кривая 1) и пропускания (кривая 2) просветляющего покрытия 39И·k_1:37И·k_2 на деталях из фтористого бария и фтористого магния

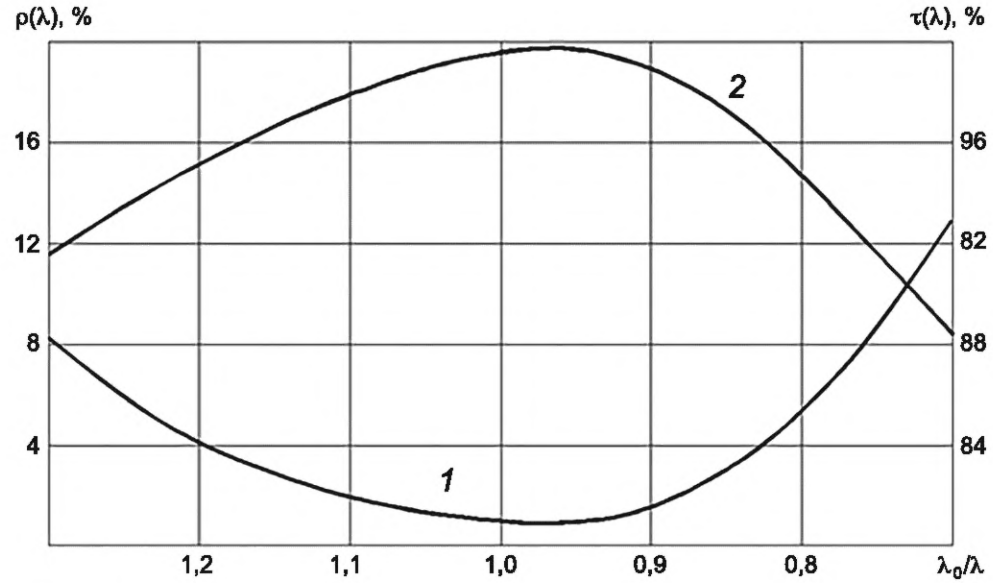


Рисунок Б.2 — Спектральные кривые коэффициентов отражения (кривая 1) и пропускания (кривая 2) просветляющего покрытия 37Иt на деталях из селенида цинка

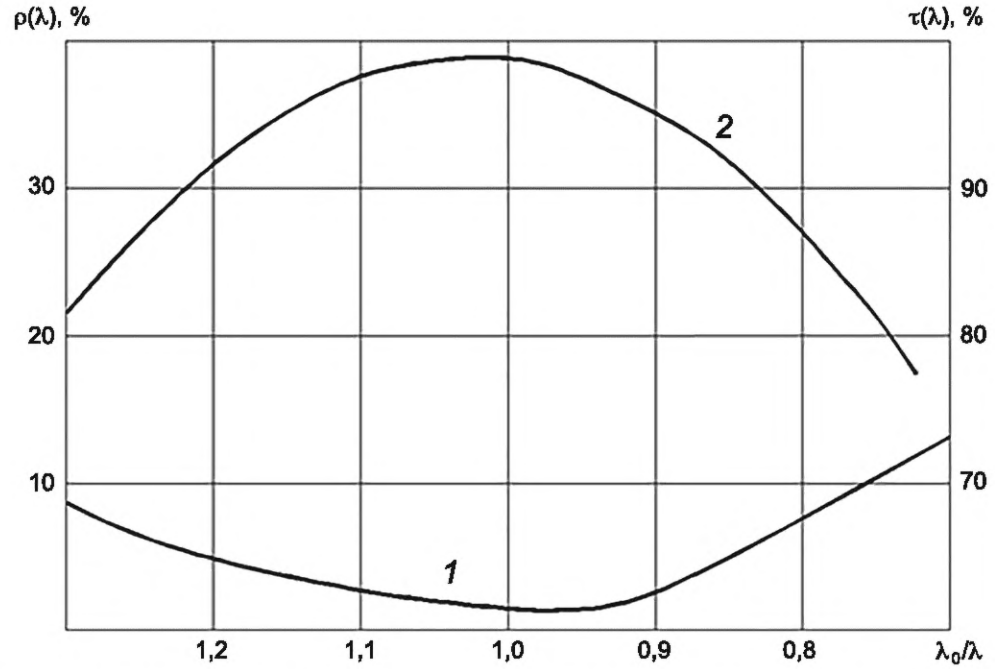


Рисунок Б.3 — Спектральные кривые коэффициентов отражения (кривая 1) и пропускания (кривая 2) просветляющего покрытия 29Иt на деталях из германия

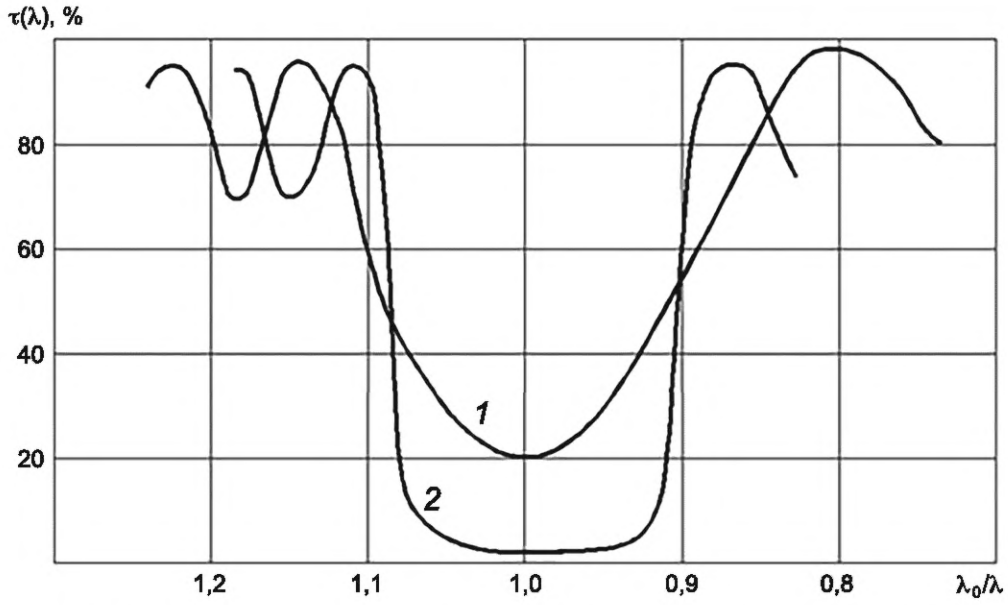


Рисунок Б.4 — Спектральные кривые коэффициентов отражения (кривая 1) и пропускания (кривая 2) просветляющего покрытия (39И:37И)×*m*:39И, где *m* = 2 (кривая 1) и *m* = 8 (кривая 2) на деталях из фтористого кальция

Приложение В
(справочное)

Карта ТТП

Таблица В.1

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа							
Б	Код, наименование оборудования						СМ	Проф.	Р	УТ	КР	ЕН	К шт
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение, код			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.
Р	*f*				Давление	*J*	*U*			*T*		*V*	
А01	005 Подготовка поверхности подложки												
02	к нанесению покрытия												
Б03	по ГОСТ Р 71575												
04													
М05	Спирт этиловый ректификованный					ГОСТ 5962							
06	Салфетка из батиста												
007	1 Чистить поверхность оправы салфеткой, смоченной спиртом												
008	2 Чистить поверхность подложки обезжиренной салфеткой (см. 6.3)												
009	3 Протереть подложку сухой обезжиренной салфеткой												
010	4 Провести контроль поверхности подложки (см. раздел 7)												
011	5 Установить подложку в оправу												
Т12	Пинцет медицинский пластинчатый												
13	Перчатки резиновые хирургические					ГОСТ 3							
14	Напальчники												
15													

Продолжение таблицы В.1

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа							
Б	Код, наименование оборудования						СМ	Проф.	Р	УТ	КР	ЕН	К шт
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение, код			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.
Р	*f*				Давление	*J*	*U*			*T*		*V*	
А01	010 Нанесение покрытия												
Б02	Вакуумная установка												
М03	(см. таблицу 2)												
О04	1 Установить подложку и контрольные образцы в оправах в гнезда держателя подложек												
О05	2 Удалить пыль с поверхности подложки и контрольных образцов												
Т06	Кисть беличья												
07	Груша резиновая												
О08	3 Включить привод вращения держателя подложек для проверки надежности крепления подложки												
Р09	20—30 об/мин												
О10	4 Выключить привод вращения держателя подложек												
О11	5 Откачать воздух из вакуумной камеры (далее — камеры)												
Р12	$1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.												
О13	6 Включить привод вращения держателя подложек												
Р14	20—30 об/мин												
О15	7 Обработать подложку разрядом												
Р16	$1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.					150—200 мА			1,5—2,0 кВ		5—10 мин		

Продолжение таблицы В.1

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа							
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	ЕН	К шт	
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение, код			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.	
Р	*f*				Давление	*J*	*U*		*T*		*V*		
Т01	Секундомер												
02	Натекатель												
О03	8 Откачать воздух из камеры												
О04	9 Установить заслонку над первым испарителем												
О05	10 Включить первый испаритель												
О06	11 Провести обезгаживание пленкообразующего материала до восстановления давления в камере												
О07	12 Увеличить частоту вращения держателя подложек												
Р08	30—60 об/мин												
О09	13 Открыть заслонку												
О10	14 Нанести первый слой покрытия, контролируя его оптическую толщину												
Р11	30—60 об/мин (см. таблицу 4)												
О12	15 Установить заслонку над первым испарителем												
О13	16 Выключить первый испаритель												
О14	17 Сменить образец для контроля толщины (при контроле по отдельному образцу)												
О15	18 Установить заслонку над вторым испарителем												
О16	19 Включить второй испаритель												

Продолжение таблицы В.1

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа							
Б	Код, наименование оборудования						СМ	Проф.	Р	УТ	КР	ЕН	К шт
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение, код			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.
Р	*f*				Давление	*J*		*U*		*T*		*V*	
О01	20 Провести обезгаживание пленкообразующего материала до восстановления давления в камере												
02	30—60 об/мин (см. таблицу 4)												
О03	21 Открыть заслонку												
О04	22 Нанести второй слой покрытия, контролируя его оптическую толщину												
О05	23 Установить заслонку над вторым испарителем												
О06	24 Выключить второй испаритель												
О07	25 Выдержать подложку в камере												
Р08	1 ч												
О09	26 Заполнить камеру воздухом												
О10	27 Откачать воздух из камеры												
Р11	$1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.												
О12	28 Выполнить поочередно переходы 26 (3 раза) и 27 (2 раза)												
О13	29 Выключить вакуумную установку												
О14	30 Вынуть деталь в оправе из камеры												
О15	31 Извлечь деталь из оправы и поместить в технологическую тару												
Т16	Тара технологическая												

Окончание таблицы В.1

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа						
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	ЕН	К шт
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение, код			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.
Р	*f*				Давление	*J*	*U*		*T*		*V*	
01	Пинцет медицинский пластинчатый											
02	Перчатки резиновые хирургические											
03												
04												
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												

УДК 681.7.026.6:006.354 ОКС 37.020

Ключевые слова: оптика и фотоника, детали оптические для лазеров области спектра 2500—14000 нм, типовые технологические процессы нанесения покрытий

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 28.10.2024. Подписано в печать 11.11.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,23.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru