

# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

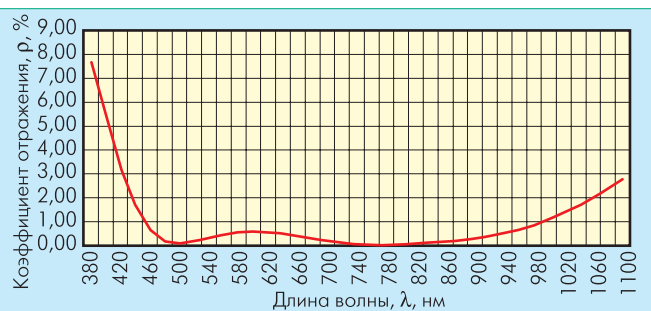
**Д**ля защиты матрицы изображений от паразитных световых засветок прибегают к разным уловкам: устанавливают на объективы бленды, зачерняют металл оправ, матируют торцевые оптические поверхности. Светозащитные покрытия, полученные вакуумным напылением, способны свести фоновые блики к минимуму.

При попадании излучения в оптическую систему под углами, превышающими границы поля зрения, возникают боковые засветки, существенно снижающие качество изображения в оптоэлектронных приборах. Многократное переотражение лучей от оптических поверхностей элементов объектива приводит к фоновой засветке светочувствительной приемной матрицы прибора.

Для снижения влияния этого эффекта применяются специальные светозащитные бленды. Их внутренние металлические поверхности покрыты специальным светопоглощающим покрытием. Оно обеспечивает ослабление фонового излучения. Коэффициент ослабления различается в зависимости от типа и материалов покрытий, химико-физических свойств поверхностей, на которые их наносят. К светопоглощающим покрытиям предъявляются особые требования: обеспечение заданного спектрального коэффициента отражения (диффузного и интегрального) и коэффициента яркости; обеспечение механической прочности и стойкости к воздействию внешней среды в течение срока эксплуатации изделия.

Распространенные методы получения светопоглощающих покрытий [1–3] опираются на результаты химических превращений на поверхностях деталей светозащитных бленд. В ходе реакций происходит изменение приповерхностной структуры с образованием новых химических соединений, придающих обрабатываемой поверхности оттенки черного цвета. Данные методы варьируются в зависимости от материала подложки и вида поверхности (шлифованная, полированная). Практика применения химических технологий нанесения покрытий имеет

ряд преимуществ и недостатков. Основное преимущество – это возможность обработки поверхностей сложных форм. Дополнительный плюс – низкая стоимость промышленного оборудования для получения покрытий. Но имеется и серьезный недостаток – необходимость применения кислот и щелочей для осуществления химических реакций, они оказывают вредное воздействие на здоровье обслуживающего персонала и на экологию окружающей среды. В некоторых случаях для повышения механической прочности покрытий применяются дополнительные методы обработки, а это существенно увеличивает продолжительность технологического цикла производства деталей и снижает производительность. Отметим, что известные химические методы не позволяют свободно управлять в широких пределах эксплуатационными свойствами покрытий: коэффициентами отражения и яркости, адгезией и др. В табл.1 приведены материалы и методы (химические и физические), используемые для получения светопоглощающих покрытий.



**Рис. 1** Расчетная спектральная характеристика светопоглощающего покрытия, нанесенного на металлическую поверхность

**Таблица 1.** Материалы и методы, применяемые для получения светопоглощающих покрытий

Материалы, соединения	Применения	Метод получения (нанесения)
Эмали фасочные	Чернение матовых поверхностей оптических деталей	Кисть, пульверизатор
Сталь в сочетании с раствором едкого натра	Получение черной (вороненой) металлической поверхности (матовой, полированной)	Химическое оксидирование
Алюминий в сочетании с раствором серной кислоты	Получение черной, пористой металлической поверхности из алюминиевых сплавов	Анодное оксидирование
Комбинации металлов и диэлектриков: золото, висмут, фтористый магний, сульфид цинка	Нанесение черного покрытия на оптические поверхности из различных материалов	Термическое испарение в вакууме
Комбинации металла и диэлектрика: хром, моноокись кремния	Нанесение черного покрытия на оптические поверхности из различных материалов	Термическое испарение в вакууме при одновременной возгонке
Комбинации металла и диэлектрика: Al и $MgF_2$	Нанесение черного покрытия на оптические поверхности из различных материалов	Термическое испарение в вакууме при одновременной возгонке

Анализ современной технической литературы, показал, что метод электронно-лучевого испарения используется очень редко. А ведь данный метод позволяет гибко управлять технологическими параметрами процесса ради достижения заданных спектральных значений коэффициента отражения, что весьма затруднительно при использовании химических методов. Технология метода заключается в последовательном испарении пленкообразующих материалов – металлов и диэлектриков – в среде высокого вакуума и осаждении их на поверхность подложки. Это позволяет наносить на поверхность металлических деталей тонкопленочную структуру, толщина слоев которой соизмерима с длиной волны излучения и составляет порядка десятков нанометров, и как результат – достижение заданных значений коэффициентов отражения и яркости.

Был произведен расчет системы оптического светопоглощающего покрытия и разработана технология его нанесения на металлические подложки электронно-лучевым методом. Рассчитанная система была оптимизирована по толщине для получения минимальных значений коэффициента отражения в заданной области спектра. В качестве материалов использовались: титан, оксид циркония, оксид кремния. Материал подложки – полированная сталь марки У8А-С-Н-1-20. Расчетная спектральная характеристика полученного на их основе покрытия представлена на рис.1.

В качестве поглощающего материала используется титан. Диэлектрические слои выступают в роли промежуточных интерференционных слоев. Нанесение пленкообразующих материалов производилось посредством электронно-лучевого нагрева в вакууме при давлении порядка  $10^{-4}$  Па. Разработка технологии нанесения светопоглощающего покрытия была проведена на вакуумной установке "Ortus" производства компании "Изовак" (Минск, Беларусь).

Основной трудностью получения покрытия данного вида является нанесение слоев нанометровой толщины. Это предъявляет жесткие требования к системе контроля. В ней используется кварцевый измеритель с точностью до 1 нм.

При контроле светопоглощающих покрытий измеряют не только спектральные, но и интегральные значения коэффици-

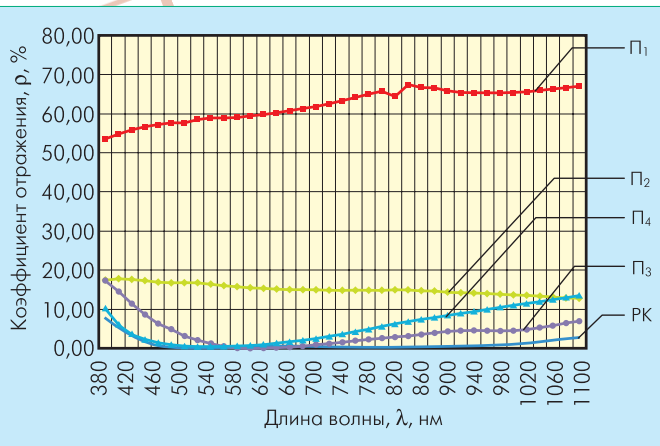
ента отражения (коэффициент зеркального отражения) –  $\rho_A$ . Измерения коэффициента отражения проводились на рефлексометре КЮ-3073, в котором лампа накаливания типа РН8-20 отградуирована на цветовую температуру  $T_{цв} = 2860K$ , а в качестве эталонного образца взято стекло К8. Значения интегрального коэффициента отражения  $\rho_A$  для светопоглощающего покрытия, полученного химическим методом, составили порядка 13–15%, а в случае использования метода электронно-лучевого испарения  $\rho_A = 0,6–0,9\%$ . Измерения коэффициента яркости  $K_{ярк}$  проводились на индикатометре СЮ-1745.

Кроме того, особого внимания заслуживает вопрос изменения коэффициентов яркости  $K_{ярк}$  и зеркального отражения  $\rho_A$  поверхностей металлических деталей для различных случаев их обработки (табл.2).

Оказалось, что значения коэффициентов яркости для случаев  $P_1–P_3$  существенно не отличаются между собой, за исключением случая  $P_3$ , где на поверхность дополнительно наносится защитный слой монооксида кремния, который выступает также в роли антиотражающего (просветляющего) покрытия. Коэффициенты отражения уменьшаются по мере усложнения видов обработки от  $P_1$  до  $P_3$ .

В случае  $P_4$  наблюдается заметное снижение коэффициентов яркости и зеркального отражения. Это объясняется тем, что топология исходной поверхности практически не оказывает влияния на механизм отражения за счет плотно покрывающего слоя поглотителя – титана и следующих за ним диэлектрических слоев. Кроме того, было обнаружено, что в процессе химического оксидирования на поверхности детали образуются микроостровки из-за незавершенности химических реакций в приповерхностной области. Это приводит к дополнительному рассеиванию падающего излучения, в результате может наблюдаться значительное увеличение коэффициента яркости. Такие проблемы не возникают, когда покрытие наносится электронно-лучевым методом, и поверхность имеет "гладкую" структуру.

На рис.2 представлены спектральные характеристики деталей в зависимости от вида обработки их поверхности (здесь кривые  $P_1–P_4$  получены для поверхностей, под-



**Рис. 2** Зависимость коэффициента отражения  $\rho$  от длины волны  $\lambda$  и вида обработки поверхности: простая полированная поверхность (П<sub>1</sub>), полированная поверхность с химическим оксидированием (воронением) (П<sub>2</sub>), полированная поверхность с химическим оксидированием и защитной пленкой монооксида кремния (П<sub>3</sub>), полированная поверхность со светопоглощающим покрытием, полученным электронно-лучевым методом (П<sub>4</sub>), модельная зависимость для поверхности П<sub>4</sub> (РК)

готовленных способами, описанными выше). Для сравнения на графике приводится расчетная кривая светоотражательной системы (РК), относительно которой проанализированы результаты измерений. Металлические полированные поверхности без какой-либо последующей обработки имеют высокие значения коэффициента отражения (кривая П<sub>1</sub>), в то время как химически оксидированные поверхности обладают сравнительно низким и равномерно распределенным отражением по спектру (кривая П<sub>2</sub>). Особо стоит отметить, что спектральная кривая П<sub>3</sub> имеет относительно низкие значения коэффициента отражения по измеренному диапазону, как уже отмечалось ранее, из-за наличия просветляющей пленки, монооксида кремния, однако экспериментальные результаты значительно превышают расчетные значения.

Значения коэффициента отражения на кривой П<sub>4</sub> светопоглощающего покрытия, полученного электронно-лучевым методом, выше расчетных в длинноволновой области спектра, а в коротковолновой области они почти совпадают. Данную проблему можно решить изменением скорости напыления и более точным подбором толщин слоев, входящих в состав системы покрытия.

Прочность полученного покрытия проверялась методом контроля на истирание по стандартной методике на приборе СМ-55 (ОСТ 3-1901-95). Покрытие выдерживало без повреждения более трех тысяч оборотов, что соответствует нулевой группе прочности.

**Таблица 2.** Зависимость коэффициентов отражения  $\rho_d$  и яркости  $K_{\text{ярк}}$  от вида обработки поверхности

Параметр	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>
$K_{\text{ярк}}$ , %	0,35–0,6	0,3–0,52	0,15–0,3	0,04–0,1
$\rho_d$ , %	54–58	13–15	6–9	0,4–7

Метод нанесения светопоглощающих покрытий электронно-лучевым испарением приводит к снижению в несколько раз коэффициента яркости по сравнению с покрытиями, полученными химическими методами. Его существенное преимущество – в гибком управлении технологическими параметрами процесса, достижении заданных спектральных значений коэффициента отражения, что весьма затруднительно при использовании химических методов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шлугер М.А. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник в 2-х т. 1985. – М.: Машиностроение.
2. Левитина Э.И., Чекмарев В.М. Вакуумные светопоглощающие покрытия в оптическом приборостроении. – С-Пб.: Изд-во ГОИ им. С.И. Вавилова, 1990.
3. Самсонов К.Н. Технология нанесения светопоглощающих неотражающих покрытий на металлические поверхности методом вакуумного напыления. – Сб. статей МГАПИ, 2005, с.100–101.