

На основании полученных результатов измерения фокусных расстояний объективов на оптической скамье можно сделать вывод о том, что визуальные методы контроля могут быть использованы для контроля объективов оптико-электронных приборов на всех этапах его изготовления; модернизация микроскопа позволяет повысить точность и удобство измерений. Использование для контроля автоматизированных измерительных установок типа OTS 200 позво-

ляет повысить точность и производительность измерений, однако это требует больших экономических затрат, так как установки данного класса в зависимости от оснащения стоят от 56 тысяч евро.

Литература

1. Креопалова Г.В. Оптические измерения / Г.В. Креопалова, Н.Л. Лазарева, Пуряев Д.Т. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.

УДК 666.1.056.64

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРОСВЕТЛЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОПТИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЛАЗЕРНЫХ ТЕЛЕСКОПОВ

Богданович Д.А.^{1,2}, Мандик Н.С.^{1,2}, Федорцев Р.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Для улучшения выходных характеристик прибора в целом на рабочие поверхности оптических деталей, как правило, наносят различного рода многослойные интерференционные покрытия. При выборе типа покрытия необходимо учитывать конструктивные и технологические требования, предъявляемые как отдельно к детали, так и к прибору в целом.

Существует ряд оптических приборов, в качестве источника излучения в которых используются лазерные модули. Одним из них является лазерный телескоп, основная функция которого заключается в расширении входного пучка лазерного излучения посредством телеобъектива. Применяемая для этих целей плосковыпуклая линза должна удовлетворять следующим требованиям: на обе поверхности необходимо нанести просветляющие покрытия с рабочим спектральным диапазоном $\lambda = 690\text{--}1000$ нм, остаточным коэффициентом отражения $\rho_{\text{ост}} < 0,7\%$, углом падения луча $\alpha = 0^\circ$, лучевой стойкостью $DT > 5\text{ Дж/см}^2$, длительностью импульса $\tau = 10$ нс.

Исходя из указанных технических требований к данной детали, применение стандартного ахроматического покрытия на основе оксида алюминия, фторида магния, или двуокиси циркония – оказывается невозможным. Для фторида магния в частности характерна низкая лазерная прочность, поэтому данный вид покрытия используется в обычных телескопических системах и микроскопах. Более высокой лучевой стойкостью обладают покрытия из двуокиси циркония и двуокиси кремния [1].

Расчёт широкополосных просветляющих покрытий проводили в программном пакете «Opti Layer». В качестве исходных данных были зада-

ны: рабочий спектральный диапазон и угол падения входного луча. Произвели выбор материалов покрытия: двуокись кремния и двуокись циркония, которые обеспечивают рабочую лучевую стойкость покрытия на уровне 10 Дж/см^2 . В процессе расчёта определили коэффициенты отражения в исследуемом диапазоне, оптимальное количество слоёв – 8 чередующихся слоёв $(\text{ZrO}_2\text{SiO}_2)_4$ и их оптические толщины: 1 слой – $0,24\ \lambda$; 2 – $0,5\ \lambda$; 3 – $2,55\ \lambda$; 4 – $2,31\ \lambda$; 5 – $2,16\ \lambda$; 6 – $2,5\ \lambda$; 7 – $0,67\ \lambda$; 8 – $1,46\ \lambda$ [2]. Контрольная длина волны $\lambda = 578$ нм. Показатель преломления для контрольной длины волны для ZrO_2 $n = 2,378$, а для SiO_2 $n = 1,458$ (рисунок 1).

Перед началом процесса напыления все подложки очищались от налёта, пыли, остатков полирита и других посторонних включений. С этой целью детали помещаются в специальные ванны с кислотами и щелочами. На финишной стадии очистки проводили при помощи спирто-эфирной смеси или ацетона.

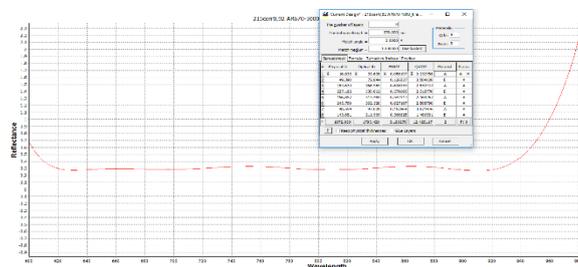


Рисунок 1 – Кривая отражения и основные параметры оптического покрытия

Камера вакуумной установки очищается от осевших материалов при испарении на предыдущих этапах напыления, с помощью гибкого абразивного материала на тканевой или бумаж-

ной основе с нанесенным на неё слоем абразивного порошка.

Процесс напыления выполнялся в вакуумной установке «Ortus» (ООО «IZOVAC»), (рисунок 2) методом электронно-лучевого испарения. На купол установки в 2 ряда были заложены оптические подложки из стекла К8.

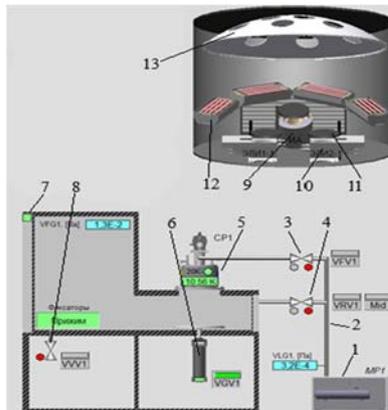


Рисунок 2 – Схема вакуумной установки:

- 1 – механический насос; 2 – форвакуумная линия;
3 – клапан откачки криогенного насоса; 4 – клапан откачки камеры; 5 – криогенный насос; 6 – затвор;
7 – датчик открытия двери; 8 – клапан выпуска в камеру; 9 – источник ассистирования;
10 – электронно-лучевой испаритель; 11 – заслонка;
12 – нагреватели; 13 – карусель

Подготовительное время к процессу напыления занимает около 4 часов. Несколько часов приходится на заморозку криогенного насоса, создания и поддержания необходимого вакуума в камере ($P = 2,5 \cdot 10^{-3}$ МПа). Проведена серия экспериментов по определению оптимальной температуры осаждения материалов для данного процесса. Установлено, что температура в $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ является оптимальной для осаждения тонкопленочных материалов. Основной технологический процесс напыления занимает около 50 минут. Скорость напыления контролируется различными способами, в зависимости от испаряемого материала: так, например, в данной установке используется гранулированный кварц чистоты 99,99 %, размеры гранул колеблются в диапазоне 0,2–0,7 мм. Гранулы помещаются во вращающийся медный цилиндрический тигель, что обеспечивает наилучшую равномерность испарения. В тоже время скорость напыления зависит от частоты вращения тигля и от величины тока ионного источника, чем медленнее вращается тигель, тем быстрее происходит испарение материала. Таблетированный материал, двуокись циркония, размеры таблеток которого составляют в диаметре 17 мм (а также фторид магния, оксид ниобия и другие) помещаются в лодочки тигля, где оператор контролирует положение пучка при помощи магнитной катушки, сканируя поверхность испаряемых материалов,

обеспечивает необходимую скорость напыления, за счёт изменения силы тока.

Каждый материал имеет свои особенности испарения, такие как: мощность ионного источника и характер испарения. Любой материал перед процессом напыления необходимо отжечь, чтобы он перестал выделять газы, поскольку в процессе напыления дополнительные примеси будут оседать на поверхности детали и повлияют на коэффициент преломления на всей толщине слоя, что отрицательно скажется на качестве покрытия. Одной из важных составляющих для получения хорошего покрытия является обеспечение высокого коэффициента отражения на каждом слое, чего можно добиться правильным характером испарения материала. При медленном испарении материалов, пленки зачастую образуют зернистую структуру, из-за чего увеличивается электрическое сопротивление и покрытия начинают поглощать падающее на них излучение. Двуокись циркония, используемая в данном процессе, должна испаряться тонкими слоями с поверхности таблетки, чего можно добиться непрерывным равномерным сканированием её поверхности ионным пучком. Однородность покрытия обеспечивается равномерной скоростью испарения, которая подбирается исходя из аналитического опыта напыления материалов предыдущих покрытий. Оптимальная скорость испарения для циркония составляет около 5 А/с, а для двуокиси кварца 10–15 А/с.

Так, например, таблетированный оксид ниобия необходимо отжигать около 5 минут, до полного прекращения бурления на поверхности материала и полной остановки таблетки (в момент отжига таблетка под воздействием лазерного излучения перемещается по лодочке). Порошкообразный кварц достаточно отжечь в течение 1,0–1,5 минут. Уже после одного круга образуется тонкая пленка на поверхности данного материала, которая не даст вылететь остальному материалу и обеспечит хороший контроль. Двуокись циркония ведет себя очень спокойно в момент отжига, таблетку достаточно просканировать всего лишь 30–40 секунд по всему периметру материала, причем цвет её должен быть ярко-красный.

При напылении широкополосных и других сложных процессов чаще всего используется метод активного контроля по пролетающему свидетелю, в ходе которого измерение происходит непосредственно по напыляемой поверхности, что уменьшает погрешность разброса данных с измерительного прибора и охватывает всю необходимую область спектра. В других случаях, то есть при напылении однослойных или двухслойных покрытий, можно использовать центральный контроль, который происходит непосредственно на определенной длине волны.

Посредством системы фотометрического контроля «Invisio M» (ООО «IZOVAC»), в проходящем свете осуществляли измерение толщины напыляемого слоя на длине волны 200–2600 нм.

До начала процесса оператор должен рассчитать оптимальные точки (желательно минимумы и максимумы), которые облегчают процесс контроля покрытия. Подбор контрольных точек помогает определить возможное перепыление или недопыление испаряемого материала. При напылении многослойных покрытий необходимо менять контрольные точки на всем заданном диапазоне длин волн, чтобы обеспечить необходимое качество покрытия. Результат напылённого седьмого слоя представлен на рисунке 3.

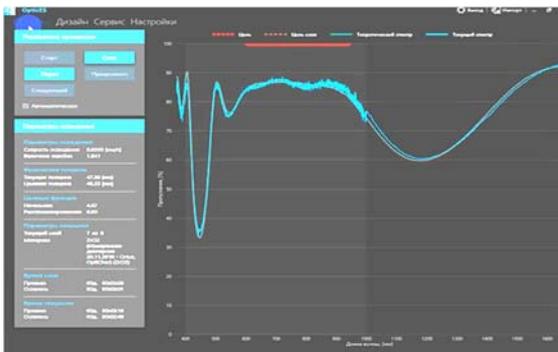


Рисунок 3 – Результат напыления промежуточного 7 слоя

В момент расчёта покрытия необходимо также учитывать спектральные сдвиги. При открытии вакуумной камеры спектральная кривая сдвигается в длинноволновую область, поэтому на этапе предварительного расчёта необходимо сместить его в коротковолновую область на некоторую величину. Кроме того, каждое оптическое покрытие подвержено старению, при котором происходит смещение последнего в длинноволновую область, что тоже необходимо учитывать при проектировании оптического покрытия [3]. Так как в данном случае использовался метод пролетающего контроля, приёмник излучения препятствовал распространению газового факела, и потребовалось удлинить исходный график. При завершении слоя оператор должен учитывать инерционность срабатывания и время закрытия заслонок, то есть закрывать заслонки раньше прекращения напыления слоя за 10–15 нм. Учитывать тот фактор, что после воздействия

ионного луча происходит остаточное осаждение газов, находящихся в камере на детали.

Для проверки соответствия нанесенного оптического покрытия расчётным теоретическим кривым, после завершения процесса напыления был осуществлен контроль данных деталей на спектрофотометре «Photon RT» компании «Es-sentOptics». Перед началом контрольного сканирования, проводили калибровку прибора, где указывали спектральный диапазон, угол падения излучения, шаг сканирования, ширина щели, режим измерения (пропускание, отражение) и тип поляризации.

Через неделю проводится повторный контроль деталей для определения коэффициента смещения покрытия, связанного со старением и соответствия данных спектральной кривой заданным техническим требованиям. Спектральный график отражения представлен на рисунке 4.

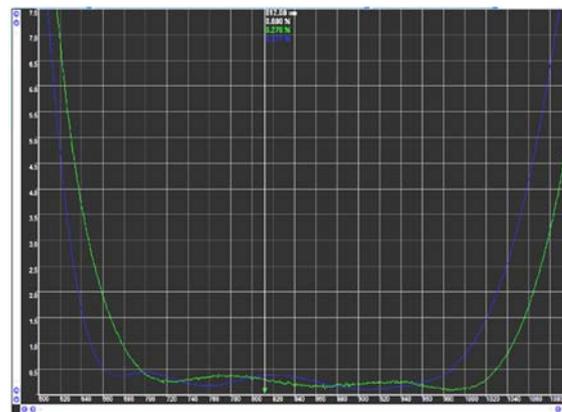


Рисунок 4 – Спектральный график отражения оптического покрытия

Из анализа представленных графиков видно, что полученный результат удовлетворяет техническим требованиям, предъявляемым к данным оптическим деталям и составляет в наивысших точках 0,27 % и 0,37 % отражения.

Литература

1. ОСТ 3-1901-95 Покрытия оптических деталей Типы, основные параметры и методы контроля.
2. Фурман Ш.А. Тонкослойные оптические покрытия / Л.: «Машиностроение», 1977. – 264 с.
3. Окатов М.А. и др. Справочник технолога-оптика. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 679 с.