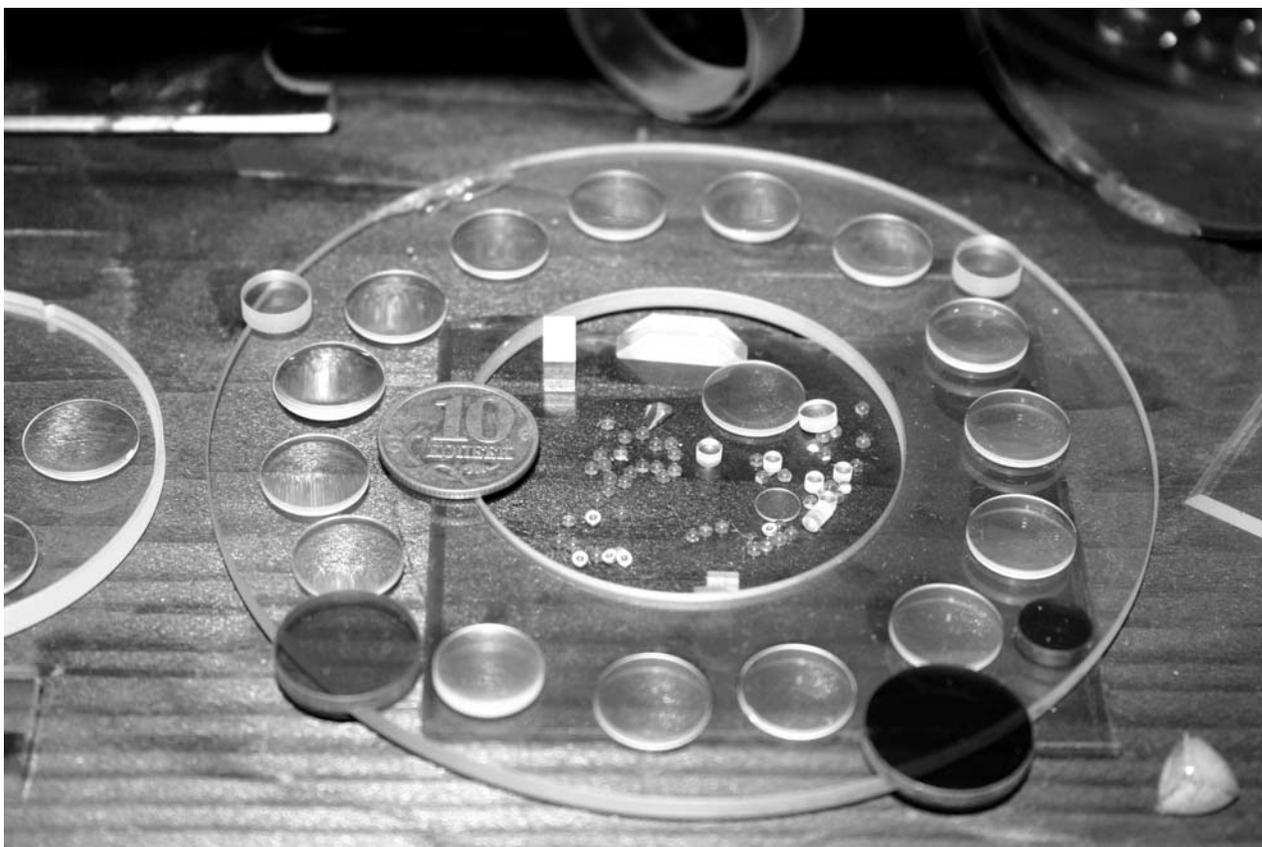


ОПТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Под ред. проф., д.т.н., Э. С. Путилина



Санкт-Петербург
2006

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Санкт-Петербургский государственный университет информационных
технологий, механики и оптики

Оптическая технология

Учебное пособие



Санкт-Петербург
2006

Оптическая технология / Под редакцией профессора, д.т.н. Э.С. Путилина /
Учебное пособие. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. 108 с.

Авторы:

д.т.н., проф.	С.М. Кузнецов
д.т.н., проф.	Э.С. Путилин
к.т.н., доц.	Ю.В. Лисицын
к.т.н., доц.	С.Ф. Старовойтов
к.т.н., доц.	А.Ф. Большанин
к.т.н., доц.	А.В. Нужин
к.т.н., доц.	Н.Н. Карасёв
ст.преп.	В.Т. Машехин
ст.преп.	А.А. Слободянюк

В учебном пособии рассмотрены основные аспекты технологии изготовления и контроля параметров различных оптических элементов.

Пособие предназначено для студентов обучающихся по специальностям 200203, 200204 в рамках курса «Оптические технологии и материалы».

Одобрено на заседании совета факультета оптико-информационных систем и технологий протокол № 1 от 17 января 2006.

© Авторы, 2006

© СПб ГУ ИТМО, 2006

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕКЛЕ

Цель работы - изучение поляризационно - оптического метода нахождения величины напряжений в контролируемом образце и определение категории стекла по двойному лучепреломлению.

Поляризационно - оптический метод применяют при аттестации оптического бесцветного или цветного стекла для измерения в образцах или заготовках величины двойного лучепреломления.

Сущность его основана на использовании свойств поляризованного света. Для реализации метода в соответствии с ГОСТом 3519 - 69 используют обычный поляриметр, состоящий из расположенных последовательно источника света, поляризатора, компенсатора и поворачивающихся вокруг оптической оси анализатора.

Свет, проходя от источника через поляризатор, приобретает линейную поляризацию, а затем в анизотропном образце становится эллиптически поляризованным. Такой свет обычно представляют двумя компонентами, которые называются обыкновенным и необыкновенным лучами. Эти лучи (вследствие различия в показателях преломления) распространяются в образце с разной скоростью, что приводит к возникновению между ними разности хода δ . Используя компенсационную пластинку, создающую между лучами дополнительную разность хода $\lambda/4$, на выходе из неё получают линейно - поляризованный свет. С помощью анализатора, вращая его вокруг оптической оси прибора, определяют угол поворота плоскости поляризации.

Основной причиной разности хода являются термоупругие напряжения, образующиеся на заключительных этапах производства стекла. Эти напряжения приводят к появлению анизотропии материала и изменению состояния поляризованного света, поэтому данный метод широко используют для анализа напряженного состояния заготовок стекла, различных изделий или моделей конструкций при решении специальных задач в теории упругости. При этом по вычисленной величине δ определяют значение разности главных нормальных напряжений $\sigma_1 - \sigma_2$.

Напомним, что главными нормальными напряжениями σ_1 и σ_2 называют соответственно наибольшее и наименьшее напряжения, действующие по взаимно перпендикулярным направлениям элементарной площадки.

Исследованиями установлено, что если в образце имеет место напряженное состояние в пределах упругости материала (выполняется закон Гука), то возникающая анизотропия, характеризуемая разностью хода δ , определяется выражением:

$$\delta = B l \cdot (\sigma_1 - \sigma_2) \text{ [нм]}, \quad (1)$$

где B - коэффициент оптической активности, характеризующий чувствительность материала к механическим напряжениям; l - размер испытуемого образца в направлении распространения поляризованного света.

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\delta}{B \cdot l} \cdot 10^{-7} \text{ [Па]}. \quad (2)$$

Известно, что остаточные напряжения, деформируя поверхности, влияют на точность формообразования, изменяют оптические характеристики и вызывают двоение изображения.

Конструкция прибора ПКС - 125. Полярископ - поляриметр ПКС –

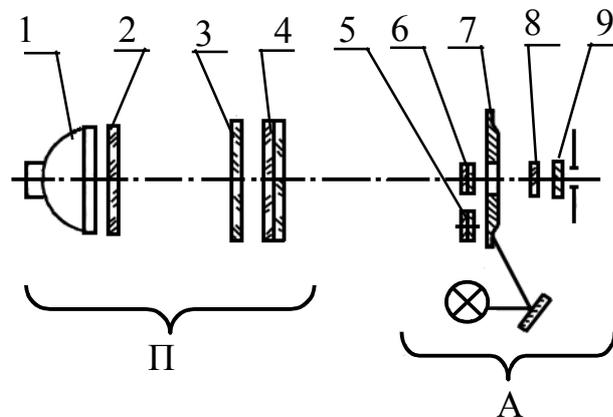


Рис.1. Оптическая схема ПКС-125

125 (рис.1) используют для интегральной оценки разности хода δ , обусловленной наличием в стекле остаточных напряжений. Прибор состоит из двух блоков: поляризатора - П с источником света 1, теплофильтром 2, матовым стеклом 3, поляроидом 4; анализатора - А, состоящего из поляроида 8, светофильтра 9, выделяющего область спектра 540 [нм], пластин (компенсатора) 5 или 6, создающих разность хода, соответственно, $\lambda/4$ и λ . При введении пластинки λ разность хода δ определяют по окрашенности интерференционной картины, а при введении пластинки $\lambda/4$ по углу γ поворота анализатора, соответствующего полному гашению света. Угол γ отсчитывают по шкале лимба

Содержание работы

1. Изучить устройство полярископа - поляриметра ПКС-125.
2. Определить разность хода на единицу длины δ/l между обыкновенным и необыкновенным лучами и установить категорию оптического стекла, характеризуемую по ГОСТ 3514-76 величиной двойного лучепреломления.
3. Определить величину остаточных напряжений в стекле.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Включить осветитель на передней панели прибора (см. рис1).
2. Вращая анализатор за кольцо с накаткой, находящееся на окуляре, получить максимальное потемнение поля зрения (скрещенное положение поляризатора и анализатора, компенсатор в положении ноль).

3. Поместить на столик прибора испытуемый образец так, чтобы путь света в нем, при нормальном падении на входную грань, был максимальным.

4. Определить разность хода δ в испытуемом образце стекла. Для этого в блоке анализатора установить пластинку $\lambda/4$ и выставить лимб анализатора в нулевое положение. Поместив на столик прибора испытуемый образец в поле зрения окуляра, наблюдают интерференционную картину, вид которой зависит от разности хода δ , величины и распределения напряжений, а именно:

- при разности хода более 540 [нм] в поле зрения виден ряд цветных и две нейтральные (черная и серая) полосы;

- при разности хода 540-100 [нм] наблюдается окрашенность поля зрения и две темные полосы;

- при разности хода менее 100 [нм] в середине и по краям образца виден серый фон, разделенный двумя темными полосами.

Величину δ определяют следующим образом: при $\delta > 540$ [нм], в поле зрения вводят светофильтр, выделяющий область спектра с длиной волны 540 [нм], и устанавливают порядок интерференции, т.е. подсчитывают число N темных полос между нейтральной полосой и серединой образца. Поворачивая анализатор, добиваются максимального потемнения в середине образца. Сняв отсчет величины угла поворота γ анализатора, рассчитывают разность хода δ на всю длину и δ/l - на единицу длины пути (что соответствует двойному лучепреломлению):

$$\delta/l = \frac{180 \cdot N + \gamma}{l} \cdot \frac{\lambda}{180} \text{ [нм/см]} \quad (3)$$

При $\delta \leq 540$ [нм] ($N=0$) разность хода можно измерять как в монохроматическом, так и в белом свете. В последнем случае для определения δ , поворачивая анализатор, совмещают полосы в середине образца. Иногда для повышения точности отсчета угла поворота в поле зрения вводят зеленый светофильтр. По шкале лимба определяют величину угла γ .

5. По величине найденной разности хода на единицу длины δ/l (с учетом коэффициента оптической активности стекла данной марки) установить категорию стекла по двойному лучепреломлению в соответствии с ГОСТом 3514-76 (табл.1).

Таблица 1

Категория	Двойное лучепреломление в нм на 1 см (δ/l), не более, в стеклах с оптическим коэффициентом напряжения $10^{-12} [\text{Па}]^{-1}$		
	B до 2,0	B от 2,0 до 2,8	B свыше 2,8
1	до 1,5	до 2	до 3
2	4	6	8
3	7	10	13
4	10	15	20
5	25	50	65

6. По найденной разности хода δ определить величину напряжений $\sigma_1 - \sigma_2 = \sigma$ в образцах стекла.

7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ образца	Коэфф. опт. активности $B, 10^{-12} [\text{Па}]^{-1}$	Размер l образца, [см].	γ , град.	Разность хода δ/l [нм/см].	Категория по двойному лучепреломлению	$\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$, [Па]

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткую теоретическую часть и основные формулы для расчета δ , $\sigma_1 - \sigma_2 = \sigma$.
2. Оптическую схему прибора ПКС-125.
3. Таблицу экспериментальных и расчетных данных.
4. Выводы по экспериментальным и расчетным данным.

Контрольные вопросы

1. Сущность поляризационно-оптического метода исследования напряженного состояния оптических материалов.
2. Причины, вызывающие двойное лучепреломление в стекле.
3. Влияние напряжений на оптические характеристики деталей и качество оптической системы в целом.
4. Полярископ-поляриметр ПКС-125. Его устройство, назначение, основные узлы и их элементы.

Литература

1. Нагибина И.М. Интерференция и дифракция света. - Л.: Машиностроение. - 1974г.
2. Кривовяз Л.М., Знаменская М.А. Практика оптической измерительной лаборатории. - Л.: Машиностроение, 1974г.

3.Зубаков В.Г., Семибратов М.Н., Штандель С.К. Технология оптических деталей - М.: Машиностроение, 1985г.

4. Кузнецов С.М., Окатов М.А. Справочник технолога -оптика - Л.: Машиностроение, Ленинградское отд., 1983г.

Краткая теоретическая часть к лабораторным работам №2 и №3

В лабораторных работах №2 и №3 измеряемые величины (общая и местная ошибки формы поверхности детали относительно эталона и угол малой клиновидности пластины) определяются по виду и характеру изменения наблюдаемой интерференционной картины. Следует заметить, что происхождение интерференционной картины и способ ее получения определяют вид интерференционной полосы. Можно рассмотреть три вида интерференционных полос.

1. λ - const; угол падения излучения θ - const; геометрическая разность хода Δ - various: в этом случае будут наблюдаться полосы равной толщины.

2. λ - const; Δ - const; θ - various : получаем полосы равного наклона.

3. Δ - const; θ - const; λ - various: получаем полосы равного хроматического порядка (интерференционные линии спектра).

Полоса равной толщины - геометрическое место точек, в которых пересекаются интерферирующие лучи, возникшие из одного направления первичного луча и имеющие некоторую постоянную разность хода. Интерференционную картину полос равной толщины можно наблюдать непосредственно на поверхности клиновидной пластинки, если параллельный пучок лучей направить перпендикулярно к одной из двух поверхностей клина. Условие интерференционных максимумов в общем случае соответствует равенству:

$$\Delta = 2d \text{ и } \cos \theta = k\lambda \Rightarrow 2d = k\lambda \quad (4)$$

где d - толщина клина; k - целое число или порядок интерференции.

Для получения плоского фронта волны (параллельного пучка лучей) необходим точечный источник света. Его можно создать с помощью диафрагмы малых размеров, которая устанавливается в плоскости резкого изображения источника создаваемого объективом. Воздушный промежуток между деталью и эталоном возникающий из-за разности форм поверхностей можно рассматривать как тонкую пленку неодинаковой толщины, в этом случае полосы равной толщины можно наблюдать при широком источнике света. В этом случае глаз следует аккомодировать на поверхность тонкой пленки и картину можно рассматривать в белом свете.

Основные свойства полос равной толщины

1. Все точки интерференционных полос равной толщины образованы лучами, выходящими из одной светящейся точки источника света.

2. Полосы равной толщины имеют наибольший контраст в точках пересечения вторичных интерферирующих лучей и могут наблюдаться без дополнительной оптической системы; так как картина образуется в результате изменения разности хода между непараллельными интерферирующими лучами.

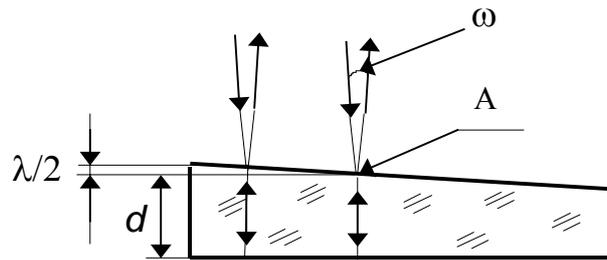


Рис.2. Полосы равной толщины

A – Область локализации интерференционной картины.

3. Ширина полос не зависит от места наблюдения, если пучки света лежат в плоскости главного сечения клина. В этом случае ширина полос определяется только углом схождения интерферирующих лучей $b = \lambda/\omega$.

Полосы равного наклона

Интерференционные полосы или кольца, возникающие из-за наличия разности хода между отдельными парами вторичных лучей, из которых

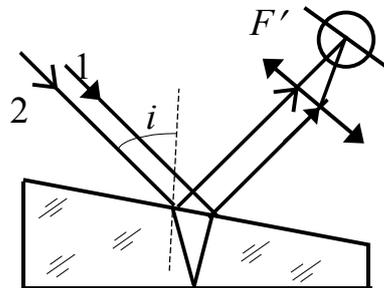


Рис.3. Полосы равного наклона

каждая пара происходит от различных точек источника света, называются полосами равного наклона. Интерференцию можно наблюдать как в отраженном, так и в проходящем свете.

Интерференционная картина локализована в бесконечности или в фокальной плоскости проекционной оптической системы.

Максимальный контраст наблюдается при равенстве складывающихся амплитуд. Условия максимумов можно выразить через угол падения i или r :

$$2dn \cos r = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} = \kappa \lambda \quad (5)$$

Представим себе, что угол падения i - const. В этом случае при d - const (плоскопараллельная пластина) будет существовать некая определенная разность хода, общая для всего фронта или будет иметь место бесконечно широкая полоса k -го порядка, т. е. интерференционная картина

не наблюдается. Это справедливо и для пленки с малым углом клиновидности, т.е. при изменении толщины клина будет меняться порядок интерференции, но при введении оптической системы для наблюдения интерференционной картины все лучи соберутся в одной точке фокальной плоскости оптической системы. В этом случае на поверхности клина можно наблюдать полосы равной толщины.

Свойства полос равного наклона

1. Различные точки интерференционной полосы равного наклона образованы лучами, идущими от различных точек источника света. Интерференционная картина в целом образована лучами, исходящими из множества точек источника.

2. Полосы равного наклона локализованы в идеальном случае в бесконечности и наблюдаются с помощью какой либо оптической системы в ее фокальной плоскости.

3. Ширина полос равного наклона в общем случае зависит от угла падения и положения наблюдательного прибора.

Полосы равной толщины и полосы равного наклона, хотя и отличаются способом их получения, имеют вместе с тем некоторые общие черты. Полосы того и другого видов можно наблюдать в одной оптической схеме при разной ее настройке. При рассмотрении схемы интерферирующих лучей для полос равного наклона считали, что два луча, происходящие от одной точки источника света, выходящей из системы точно параллельно друг другу. На самом деле в реальной оптической системе всегда будет иметь место отклонение вторичных лучей от идеальной параллельности после выхода из интерферометра вследствие отступления его поверхности от плоскостности или из-за неточной параллельности поверхностей.

В этом случае появляются условия для наблюдения полос равной толщины. Можно установить критерий для угла между интерферирующими лучами, при котором значительно упадет контраст полос равного наклона, а вместо этого появится возможность наблюдения полос равной толщины. Можно рассмотреть возможность наблюдения полос равного наклона в схеме для наблюдения полос равной толщины. Для этого в какую-либо точку интерференционного поля можно поместить наблюдательный прибор, ограничив размеры его входного зрачка. В этом случае вблизи фокальной плоскости объектива будет наблюдаться интерференционная картина линий равного наклона, так как произойдет изменение разности хода для лучей, идущих от различных точек источника в пределах выделенного углового размера. Это и определит возможность возникновения полос равного наклона. Таким образом, возможен переход от наблюдения одного вида полос к другому в зависимости от условий наблюдения.

Все реальные источники света достаточной яркости имеют конечные размеры (за исключением источников лазерного излучения) причем отдельные точки источника между собой некогерентны. Известно, что контраст интерференционной картины K' зависит от ширины источника d . Контраст превышает 0,9 если значение d меньше $\lambda/4\beta$, где β - параметр связывающий a - расстояние между источниками вторичных волн и L - расстояние от плоскости источников вторичных волн до плоскости интерференции.

Если d достигает значения λ/β , контраст равен нулю.

Видность или контраст интерференционных полос по определению Майкельсона дается следующим соотношением:

$$K' = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} ; \quad (6)$$

где I_{\max} и I_{\min} - интенсивности света.

При $|\Delta|=0; \lambda; 2\lambda; \Lambda ; k\lambda$, где порядок интерференции k - целое число и $|\Delta|=\lambda/2; 3\lambda/2; \Lambda ; (2k+1)\lambda/2$ - соответственно.

Если $K'=0,9$ говорят о допустимом контрасте и допустимой ширине источника, при $K'=0$ - о критической ширине источника света. Поэтому целесообразно рассчитывать критический размер источника, а затем в реальном интерферометре уменьшить его до достижения такого контраста, который обеспечит надежную регистрацию картины.

Условие критического контраста и критической ширины источника света формируется следующим образом; контраст полос равен нулю, если разность хода от элементарных крайних участков источника в одной и той же точке поля отличается на длину волны λ . Используя широкий источник света можно наблюдать интерференционную картину с хорошим контрастом, но положение полос интерференции должно быть вполне определенным. Такие интерференционные полосы называют локализованными. Поле интерференции, в котором наблюдаются локализованные полосы, носит название плоскости локализации. В плоскости локализации наблюдаются полосы наивысшего качества, т.е. оптимальные одновременно по двум характеристикам - яркости и контрасту, вблизи плоскости локализации, полосы при той же яркости будут меньшего контраста или при том же контрасте меньшей яркости. В данном интерферометре используется полихроматический источник света. Свет от такого источника есть совокупность некогерентных монохроматических компонент, занимающих некоторый спектральный интервал. Конечное значение излучаемого источником интервала длин волн $\Delta\lambda$ определяется тем, что электромагнитная волна не бесконечна во времени - она излучается атомами в виде пучков конечной длины. Чем меньше длина луча, т.е. чем меньше время жизни атома в возбужденном состоянии,

тем шире спектр частот и тем меньше временная когерентность. Можно связать длину луча и ширину спектра и ввести понятия: длина когерентности и время когерентности.

$$L_c = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda} - \text{длина когерентности} \quad (7)$$

$$\tau_c = \frac{L_c}{c} = \frac{\lambda_0^2}{c\Delta\lambda}, \quad (8)$$

где c - скорость в вакууме,

λ_0 - средняя волна в рассматриваемом диапазоне.

Предположим, что диапазон длин волн источника $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, а средняя длина волны λ_0 . Центральные (нулевого порядка) максимумы всех монохроматических картин совпадают в точке поля с разностью хода $\Delta=0$. С удалением от центра картины монохроматические полосы все более смещаются относительно друг друга, т.к. ширина полосы пропорциональна длине волны.

Если в интерференционном поле порядок интерференции

$$|N| \ll \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda}, \text{ а разность хода соответственно}$$

$$|\Delta| \ll \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}, \text{ то можно считать, что для всех длин волн от } \lambda_2 \text{ до } \lambda_1$$

интерференционные картины совпадают. Тогда наблюдаются такие же полосы, как и в случае строго монохроматического света с длиной волны λ_0 .

Если же разность хода достигает критического значения

$$|\Delta_{кр}| = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}, \text{ то всю ширину монохроматической полосы заполняют}$$

максимумы одного и того же порядка разных длин волн, и контраст результирующей картины падает до нуля.

$$|\Delta| = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon} - \frac{\lambda_0}{2} \quad (9)$$

Подставив $|\Delta_{кр}|$ в формулу (9) легко можно увидеть при какой толщине пластины произойдет падение контраста интерференционной картины до нуля. Таким образом, для наблюдения контрастной интерференционной картины при большой разности хода или, большой толщины пластины необходима высокая временная когерентность, что приводит к увеличению длины когерентности и следовательно к уменьшению $\Delta\lambda$. Такими характеристиками обладают, в частности, лазерные источники света.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФОРМЫ ПОЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Цель работы - изучение интерференционных методов контроля формы полированных поверхностей и практическое измерение формы поверхности с помощью пробных стекол и на интерферометре ИТ-70.

Основные положения

Контроль формы точных полированных поверхностей основан на использовании явления интерференции света, возникающей в воздушном зазоре между контролируемой поверхностью и эталонной, радиус кривизны которой соответствует заданному чертежом радиусу.

Если контролируемую поверхность детали совместить с измерительной поверхностью эталона, то при несоответствии их формы образуется воздушный промежуток, который можно рассматривать как пластинку толщиной h с показателем преломления $n=1$. Разность хода δ лучей света с длиной волны λ , падающих на пластинку под углом α и отраженных поверхностями, ограничивающими зазор, равна $\delta = 2h \cos \alpha - \frac{\lambda}{2}$. При падении света по нормали к

поверхности $\delta = 2h + \frac{\lambda}{2}$. Если разность хода δ кратна четному числу $\frac{\lambda}{2}$, будет иметь место усиление света, если нечетному - ослабление. В зазоре, толщина h которого неодинакова, разность хода лучей различна. При широком источнике света можно наблюдать чередующиеся интерференционные кольца, локализованные на поверхности воздушного зазора. Кольца располагаются там, где величина зазора одинакова, поэтому их называют кольцами равной толщины. При наблюдении в белом свете видны цветные кольца, в монохроматическом - темные и светлые. При переходе от кольца к кольцу одинакового цвета, толщина воздушного промежутка меняется на $\frac{\lambda}{2}$. Число

колец любого (но одного цвета) характеризует разность стрелок прогиба поверхности детали и эталона. Отступление радиуса кривизны контролируемой поверхности от заданного (эталона) называют **общей ошибкой** и обозначают знаком N . Форма интерференционных колец, в сечении параллельном их направлению, воспроизводит профиль воздушного зазора между поверхностями детали и эталона. Если кривизна поверхности детали меняется плавно, кольца имеют вид параллельных окружностей (или дуг). Типичны следующие виды общих ошибок формы поверхностей (рис.4):

- « бугор » - условное название ошибки, при которой толщина зазора на краю больше, чем в центре (рис.4а);

- « яма » - условное название ошибки, при которой толщина зазора в центре больше, чем с краю (рис.4б).

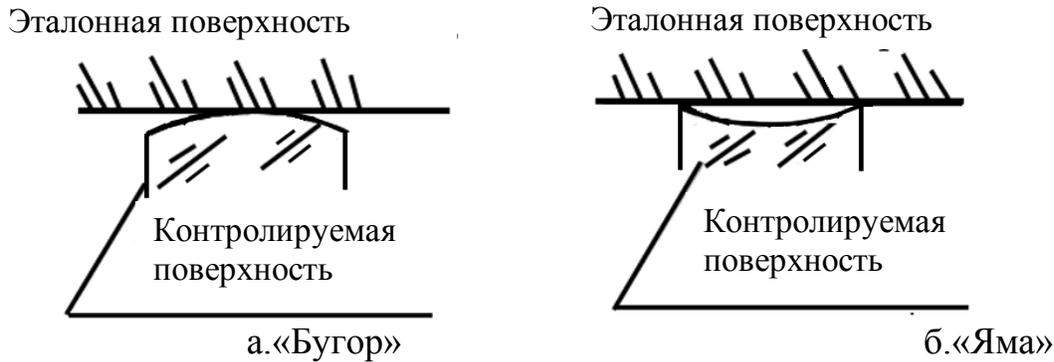
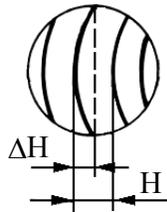


Рис.4. Типы общей ошибки

Рис.5. Определение величины общей ошибки

$$N = \Delta H / H = 0,5$$



Если общая ошибка мала ($N < 1$), то вместо колец интерференции появляется равномерно окрашенная картина. По ее цвету судят о величине ошибки: красный цвет - $N \cong 1/2$, синий - $N \cong 1/4$, желтый - $N \cong 1/8$. Для более точного определения величины таких ошибок, между контролируемой и измерительной поверхностями создают воздушный клин. Тогда интерференционная картина приобретает вид полос. О величине N общей ошибки судят по отношению стрелки прогиба ΔH полосы к расстоянию H между соседними полосами одного цвета (рис.5) - красными при наблюдении в белом свете, темными - в монохроматическом.

Нерегулярность формы контролируемой поверхности в различных зонах называют **местной ошибкой**. Типичные ошибки: «местная яма» (рис.6а), «местный бугор» (рис.6б), «приподнятый край» (рис.6в), «завал» (рис.6г), «астигматизм» (рис.7). Астигматизм - условное название ошибки, при которой кривизна контролируемой поверхности неодинакова по абсолютной величине в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Вели-

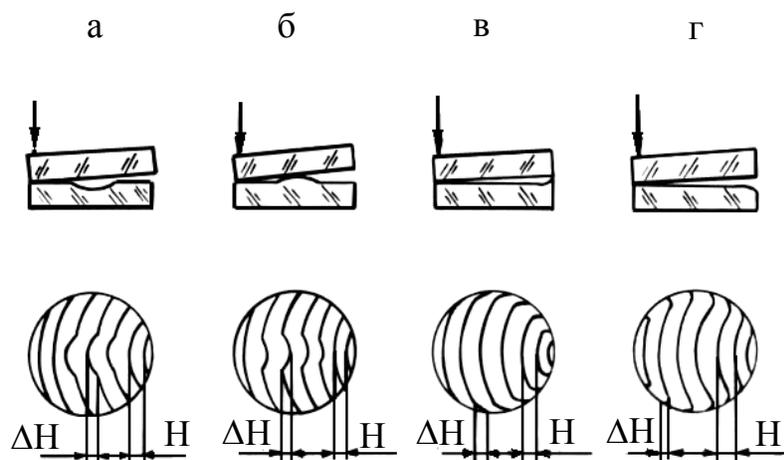


Рис.6. Типы местных ошибок

чину астигматизма оценивают сравнением с картинами контрольной таблицы.

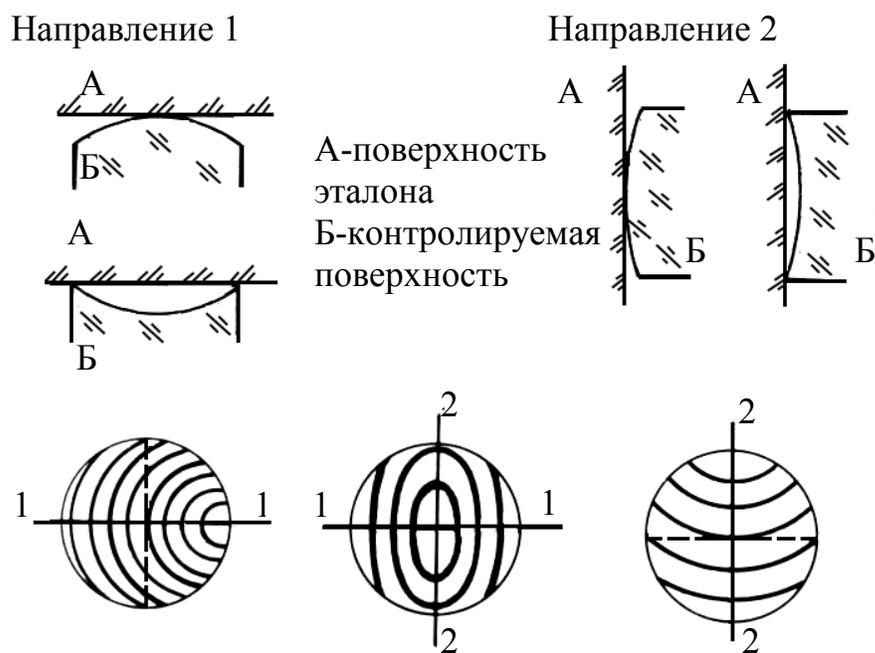


Рис.7. Определение наличия ошибки «Астигматизм»

На практике часто наблюдается сочетание ошибок краевой и центральной зон («завал» и «местная яма», «приподнятый край» и «местный бугор» и др.). Для получения представления о форме всей поверхности и суждении о наличии или отсутствия на ней местных ошибок, размер контролируемой детали должен быть меньше эталона. Если деталь больше эталона, величина стрелки прогиба N_a на диаметре d_a детали

$$N_d = \left(\frac{d_d}{d_s} \right)^2 N_s \quad (10)$$

где d_s - диаметр эталона; N_s - стрелка прогиба (в интерференционных полосах) контролируемой поверхности на диаметре d_s эталона.

Эталоны применяются в виде так называемых пробных стекол - для непосредственного наложения их измерительной поверхности на контролируемую поверхность детали, и установленным в приборы (интерферометры) - для бесконтактных измерений.

Пробные стекла. Пробные стекла - эталоны плоской и сферической поверхностей заданного радиуса кривизны имеют диаметр до 130[мм]. Радиусы кривизны измерительной поверхности сферических пробных стекол нормализованы. Для каждого значения радиуса, в том числе и $R=\infty$, в условиях серийного производств, изготавливается 3 пары пробных стекол:

РПС - рабочие пробные стекла для контроля поверхностей деталей.

КПС - контрольные пробные стекла для проверки поверхностей рабочих пробных стекол.

ОПС - основные пробные стекла для проверки контрольных стекол.

В условиях мелко серийного производства допускают наличие только РПС и ОПС.

Таблица 1

Класс точности пробных стекол	Сферические стекла с номинальными значениями радиусов R , [мм]						Плоские стекла $R=\infty$
	от 0,5 до 2	св. 2 до 10	св. 10 до 37,5	св. 37,5 до 250	св. 250 до 1000	св. 1000 до 40000	Допустимые отклонения от плоскости N
	Допустимые отклонения $R (\pm)$						
	[мкм]			% от номинальной величины R			
1.	0,5	1,0	2,0	0,01	0,02	$\frac{0,02\%R}{1000}$	0,05
2.	1,0	3,0	5,0	0,03	0,05	$\frac{0,05\%R}{1000}$	0,07
3.	2,0	10,0	15,0	0,10	0,15	$\frac{0,15\%R}{1000}$	0,1

Сферические пробные стекла всех радиусов кривизны изготавливают парами - выпуклое и вогнутое. По точности формы измерительной поверхности пробные стекла разделяются на три класса. Допускаемые отклонения радиусов кривизны измерительных поверхностей сферических ОПС от номинальных значений R и от плоскостности плоских ОПС представлены в табл.1.

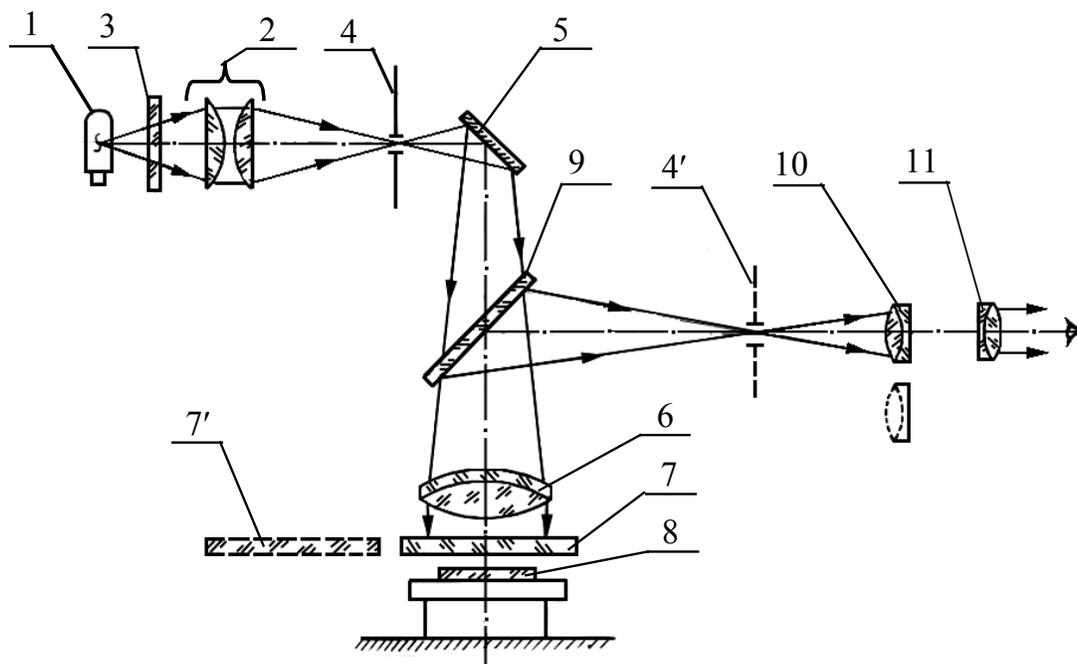


Рис.8. Оптическая схема ИТ-70

Интерферометр для контроля плоских поверхностей

Интерферометры для технологического контроля плоских поверхностей могут быть с зеркальным или линзовым объективом. Первые, в соответствии с размером зеркала, позволяют контролировать детали или блоки диаметром до 350 - 400 [мм], вторые, до 100 - 120 [мм]. В настоящей работе используется интерферометр ИТ-70 с линзовым объективом.

Оптическая схема прибора приведена на рис.8. Здесь светящееся тело 1 спектральной лампы СМР-1 конденсором 2 проектируется в плоскость отверстия диафрагмы 4. В ход лучей вводится светофильтр 3. Свет, отраженный зеркалом 5, попадает в объектив 6 коллиматора. На выходе из него параллельный пучок падает на эталон 7, проходит через него и попадает на контролируемую поверхность детали 8. Пучки света, отраженные поверхностями детали и эталона накладываются друг на друга и интерферируют. Картина интерференции при помощи светоделительной пластинки 9 проектируется в фокальную плоскость телескопической лупы, состоящей из объектива 10 и окуляра 11. Прибор может быть использован для наблюдения двух - и многолучевой картин интерференции. В последнем случае вместо эталона 7 вводят эталон 7' со светоделительным покрытием. При использовании двухлучевой интерференции отступление от плоскости может быть измерено с точностью порядка 0,1 полосы, при многолучевой - до 0,05 полосы. На интерферометре можно контролировать плоскопарал

тельность тонких (до 8 [мм]) пластин путем наблюдения в них полос равной толщины.

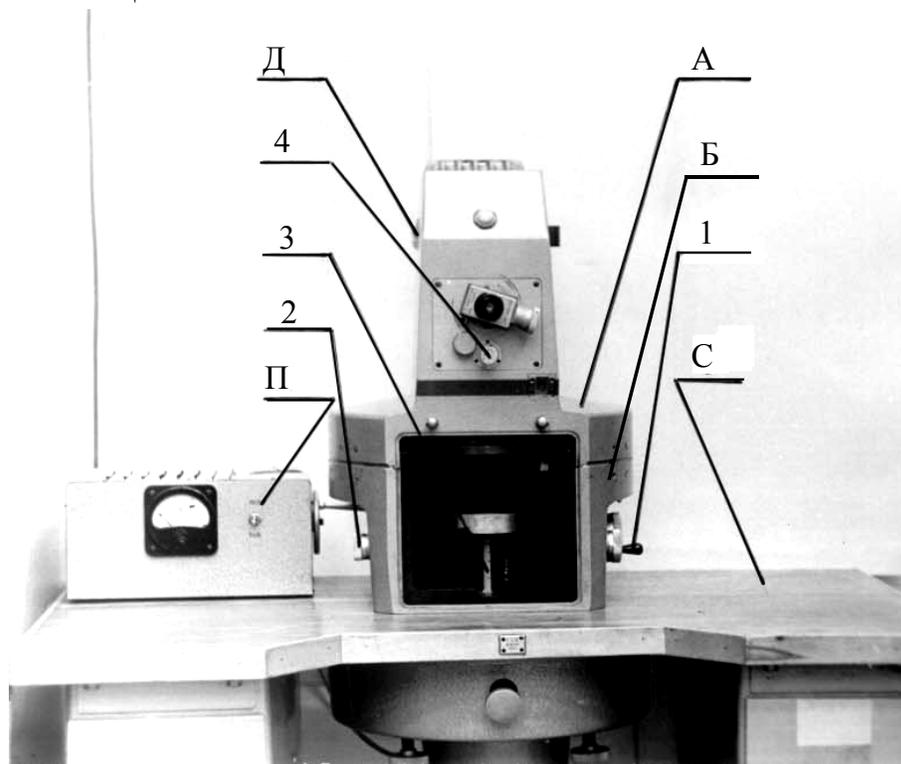


Рис.9. Общий вид ИТ-70

Интерферометр (рис.9) состоит из верхней А и нижней Б частей, стола С и пульта П зажигания. В верхнюю часть входит осветитель и все оптические детали схемы, кроме эталона. Лампу осветителя подключают через пульт зажигания в сеть переменного тока напряжением 220 вольт. Диафрагмы меняют поворотом диска Д. В нижнюю часть прибора входит узел эталонных пластин и предметный столик с рукоятками управления. Подъем и опускание столика производят рукояткой 1, а его наклон в двух взаимно-перпендикулярных направлениях - рукоятками 2. Величина подъема столика может быть замерена по шкале 3. Все рукоятки управления расположены на внешнем корпусе прибора.

Содержание работы

1. Используя эталоны с $R = \infty$ и $R = -80,17$ [мм] проконтролировать форму трех плоских и сферических деталей. Определить вид («бугор», «яма») и величину общей ошибки N . Определить вид («местный бугор», «местная яма») и величину местных ошибок ΔN .

2. Эти же детали проконтролировать на интерферометре ИТ-70. Определить общую N и местные ΔN ошибки.

3. Сравнить результаты измерений и оценить точность контроля.

Методические указания и порядок выполнения работы

Контроль пробными стеклами

1. Тщательно промыть спиртом и протереть салфеткой измерительную поверхность эталона и контролируемую поверхность детали.

2. Беличьей кисточкой смахнуть с них пыль и осторожно опустить пробное стекло измерительной поверхностью на контролируемую поверхность (или наоборот - в зависимости от соотношения размеров эталон - деталь и толщины последней). При этом пробное стекло должно скользить по детали (или наоборот - деталь по пробному стеклу) на тонкой воздушной подушке, находящейся в зазоре между совмещенными поверхностями. При малом усилии прижатия эталона к детали (или наоборот детали к эталону) должна появиться интерференционная картина, которая при несоответствии формы поверхности детали и эталона будет иметь вид колец или равно-мерную окраску. Отсутствие свободного скольжения эталона по детали (или детали по эталону) указывает на некачественную чистку измерительной и контролируемой поверхностей. **Категорически запрещается притирать их друг к другу!** Интерференционная картина будет искаженной, а поверхности повреждены (поцарапаны).

3. По числу N колец интерференции одного цвета (красных - при наблюдении в белом свете и темных - в монохроматическом) определить величину общей ошибки. Вид ошибки устанавливают по направлению перемещения колец при нажатии на середину пробного стекла (или детали). При ошибке «яма» кольца интерференции перемещаются от края к центру, при ошибке «бугор» - наоборот. Зарисовать интерференционную картину и занести её в таблицу.

4. Создав воздушный клин нажимом на край эталона (или детали) определить общую ошибку N по отношению стрелки прогиба полосы к расстоянию между соседними полосами одного цвета. Вид ошибки определяется по направлению искривления полос относительно точки прижима. При ошибке «бугор» полосы расположены вогнутостью к точке прижима, при ошибке «яма» - выпуклостью. При нерегулярности формы полосы установить вид местной ошибки ΔN . Найти величину этой ошибки. Зарисовать картину интерференции и занести её в таблицу 1.

Контроль на интерферометре

1. Тумблером на корпусе пульта зажигания включить лампу освещения.

2. Включить освещение внутреннего пространства интерферометра тумблером, расположенным с правой стороны корпуса прибора.

3. Установить контролируемую деталь на столик прибора и поднять его вращением рукоятки 1 (см.рис.9) до получения зазора между эталоном и деталью равного примерно 1[мм].

4. Повернуть рукоятку 4 в правое положение, при котором объектив телескопической лупы выводится из хода лучей. С помощью рукояток 2, осуществляющих наклон столика, совместить автоколлимационное изображение диафрагмы от измерительной поверхности эталона и контролируемой поверхности детали.

5. Включить внутреннее освещение прибора, поворотом рукоятки 4 в исходное положение, ввести в ход лучей телескопическую лупу.

6. Наблюдая в окуляр и регулируя наклон столика с деталью рукоятками 2, установить желаемый характер интерференционной картины (полосы или кольца), изменить ширину и направление полос. Поворотом диска Д с набором диафрагм отрегулировать яркость и контрастность интерференционной картины.

7. Найти величину общей ошибки двумя способами - по числу интерференционных колец и по отношению стрелки прогиба полосы к расстоянию между соседними полосами. Установить вид общей ошибки. Определить вид и величину местной ошибки. Результаты измерений общей и местной ошибок и наблюдаемые интерференционные картины, занести в таблицу 1.

Таблица 1

Номер детали	Картина интерференции, характеризующая отступление поверхности от эталона		Вид и величина общей ошибки		Вид и величина местной ошибки	
	в кольцах	в полосах	N	Вид	ΔN	Вид

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткую теоретическую часть.
2. Оптическую схему интерферометра с ходом лучей.
3. Таблицу с результатами измерений.

Выводы по результатам измерений с объяснением полученных интерференционных картин.

Контрольные вопросы

1. Как определить вид и величину ошибки контролируемой поверхности (общая, местная) при наблюдении картин интерференции в кольцах и полосах?

2. Типы и назначение пробных стекол, применяемых в серийном производстве оптических деталей.

3. Классы точности ОПС. Единицы измерения, в которых задают допускаемые отклонения R сферических ОПС и допускаемые отклонения от плоскостности плоских ОПС.

4. Точность контроля формы поверхности на интерферометре и пробными стеклами.

5. Почему повышается точность измерений при использовании многолучевой интерференции?

6. Как рассчитать ошибку формы поверхности детали, если её размер больше эталона?

Литература

1. Кузнецов С.М., Окатов М.А. Справочник технолога -оптика - Л. Машиностроение, Ленинградское отд., 1983г.

2. Семибратов М.Н. Технология оптических деталей. - М. Машиностроение, 1978г.

3. Краткая теоретическая часть методических указаний стр.8.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

КОНТРОЛЬ МАЛОЙ КЛИНОВИДНОСТИ ПЛАСТИН НА ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ЧАПСКОГО

Цель работы - изучение интерференционного метода контроля малой клиновидности плоскопараллельных пластин.

Клиновидность плоскопараллельных пластин вызывает двоение изображения и поперечный хроматизм. Величина допустимой погрешности определяется назначением детали и её положением в оптической системе.

Плоскопараллельность полированных пластин и величину малых углов клиньев определяют на интерферометре Чапского. Действие прибора основано на принципе интерференции световых лучей, отраженных рабочими поверхностями детали. Если отраженный свет широкого источника собирается линзой, то в её фокальной плоскости наблюдается интерференционная картина в виде концентрических колец. Эти полосы называют полосами равного наклона в отличие от полос равной толщины, наблюдаемых при интерференции в клине. Вид и локализация полос интерференции определяются величиной угла клина и условиями освещения.

Рассмотрим возникновение полос равного наклона и определим величину разности хода лучей, отраженных под некоторым углом от

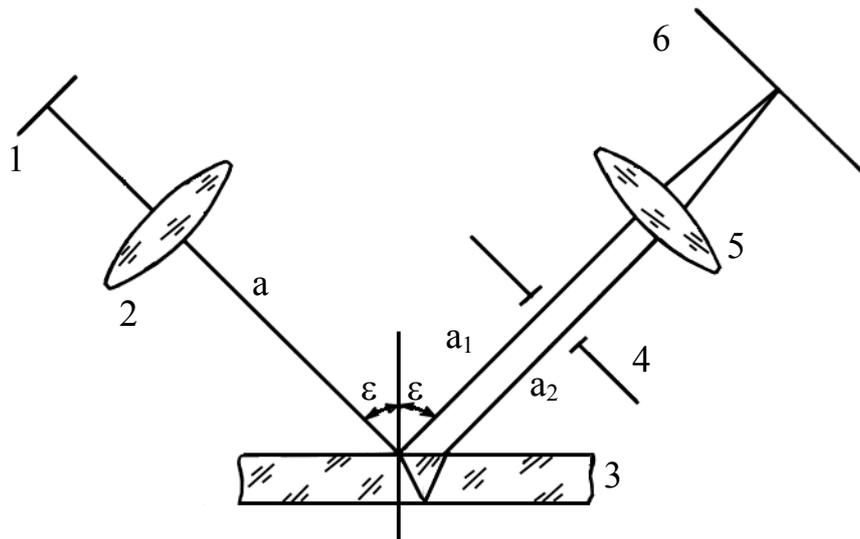


Рис.10. Способ наблюдения полос равного наклона плоскопараллельной пластины (рис.10).

В плоскости изображения широкого источника света 1, помещенного в фокусе объектива коллиматора 2, наблюдают полосы равного наклона. Изображение получают в фокальной плоскости 6 линзы 5.

Для любого луча a , падающего на пластинку 3 под углом ε , часть света отражается первой поверхностью (луч a_1), а часть проникает в глубь стекла, и отразится от второй поверхности. Выйдя из пластинки, луч a_2 направится параллельно лучу a_1 , отраженному первой поверхностью.

Пройдя объектив 5, лучи a_1 и a_2 интерферируют в фокальной плоскости 6. В зависимости от разности хода этих лучей (определяемой толщиной d пластинки, показателем преломления n её материала и углом ε падения света) будет наблюдаться интерференционный максимум или минимум. Разность хода δ этих лучей (рис.11):

$$\delta = n(AB + BC) - CD - \frac{\lambda}{2} = 2n \cdot AB - CD - \frac{\lambda}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon} - \frac{\lambda}{2} \quad (11)$$

если $\delta = 2k \frac{\lambda}{2}$, где $k = 1, 2, 3, \dots$, то наблюдают интерференционный максимум.

При $\delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ - интерференционный минимум.

Из формулы (11) видно, что для лучей падающих на пластинку под углом, разность хода зависит от угла падения. Поскольку под одним и тем же углом на пластинку падает пучок лучей в виде конической поверхности, то в фокальной плоскости объектива будет наблюдаться светлое или темное кольцо (при $\delta = 2k \frac{\lambda}{2}$ - светлое, при $\delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ - темное).

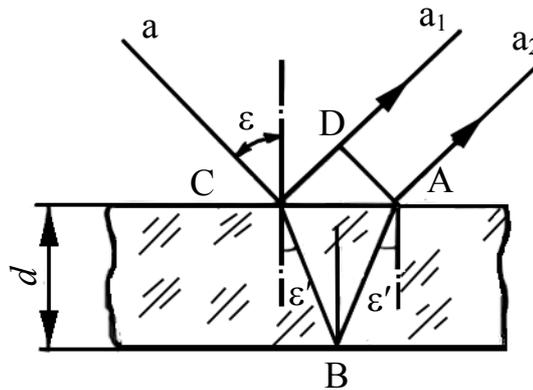


Рис.11. Геометрическое определение разности хода δ

При использовании широкого источника угол падения света на пластину меняется в больших пределах, поэтому в фокальной плоскости объектива 5 наблюдается ряд чередующихся светлых и темных колец концентрической формы. Если поверхности пластины образуют между собой малый угол θ , то изображения источника 1 в фокальной плоскости 6 разойдутся на расстояние $l = 2\theta n f$, где f - фокусное расстояние линзы 5. При этом в фокальной плоскости изображения некогерентных точек источника 1

будут накладываться друг на друга. Если $l \geq r$, (r - дифракционный размер точки источника), то интерференция наблюдаться не будет. Дифракционный радиус точки определяется по формуле:

$$r = 1,22 \frac{\lambda f}{D} \quad (12)$$

где D - диаметр диафрагмы 4 (см.рис.10)

Критический угол клина θ_0 , при котором интерференционная картина размывается, равен:

$$\theta_0 = \frac{\lambda}{2nD} \quad (13)$$

При $\theta < \frac{\theta_0}{2}$ в плоскости 6 будут наблюдаться контрастные интерференционные полосы равного наклона.

Для контроля параллельности пластин интерференционную картину, получаемую в фокальной плоскости 6 линзы 5, рассматривают с помощью окуляра, который вместе с линзой 5 (рис.10) образует зрительную трубу. Для удобства наблюдения и отсчета половина поля зрения окуляра перекрыта, поэтому наблюдают картину полуколец.

Если пластина 3 плоскопараллельна, то при её перемещении под объективом 5 никаких изменений в поле зрения окуляра наблюдаться не будет. Если же пластина клиновидна, то разность хода для каждого луча будет изменяться. Вследствие этого одновременно с перемещением пластинки будет наблюдаться смещение колец интерференции. Кольца либо появляются в центре и перемещаются к периферии, либо наоборот – перемещаются к центру и исчезают. Первый случай соответствует перемещению пластины в сторону увеличения её толщины, второй - в сторону уменьшения.

Появление или исчезновение кольца соответствует изменению толщины пластины на величину $\delta d = \frac{\lambda}{2n}$.

Наблюдая перемещение колец относительно какой-либо точки поля зрения окуляра, можно определить изменение толщины пластины, передвинув её по всей длине под объективом 5.

Если при перемещении пластины на длину L появилось или исчезло N колец, то величину клиновидности определяют по формуле:

$$\operatorname{tg} \theta'' = \frac{N\lambda}{2nL} \quad (14)$$

где λ - длина световой волны, для которой производятся измерения ($\lambda = 0,583 \cdot 10^{-6}$ [м]).

Формула (14) справедлива для случая, когда пластинку передвигают перпендикулярно ребру клина.

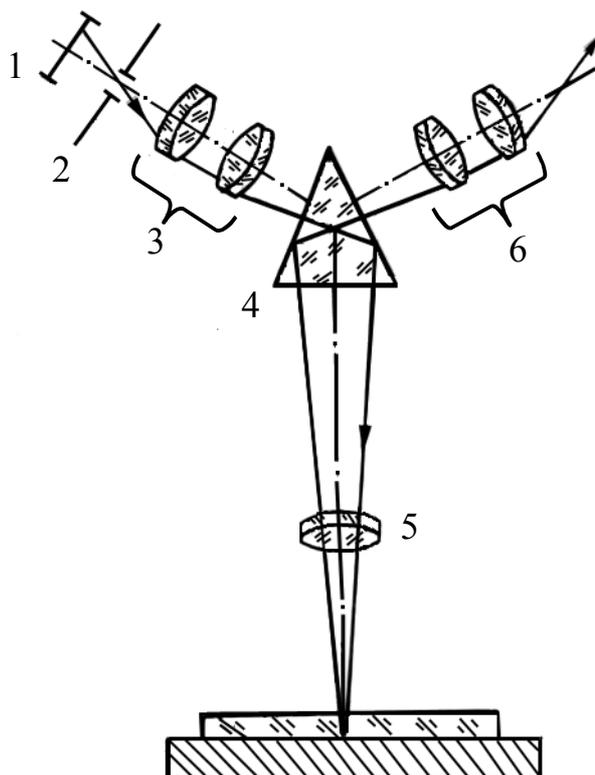


Рис.12. Оптическая схема интерферометра Чапского

Описание конструкции прибора

Используемый в данной работе интерферометр Чапского (рис.12) состоит из широкого источника света 1 (неоновой лампы со светящимся диском), щелевой диафрагмы 2 переменной величины, конденсора 3, разделительной призмы 4 с углами 60° , объектива 5, окуляра 6.

Луч света, пройдя конденсор, отражается призмой и, пройдя через объектив, падает на испытуемую пластинку, отражается от двух поверхностей, опять проходит объектив, призму и попадает в окуляр.

Интерференционная картина локализуется в фокальной плоскости объектива 5. Наблюдают интерференционную картину с помощью окуляра 6. Прибор применяют для контроля пластин с величиной клина не более $12''$ при толщине пластины $10[\text{мм}]$.

Содержание работы

1. Получить в поле зрения окуляра интерферометра Чапского резкое изображение интерференционных полос равного наклона от клиновидной пластинки.
2. Измерить клиновидность нескольких пластин.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Включить источник света.
2. Поместить испытательную пластинку на столик интерферометра.
3. Получить резкое изображение штриховой сетки окуляра.
4. Вращая кольцо объектива, добиться резкого изображения интерференционной картины в поле зрения окуляра.
5. Вращая столик, установить пластинку в такое положение, чтобы при перемещении её по одним направляющим картина оставалась без изменения (это соответствует перемещению пластины параллельно ребру клина), а при перемещении по направляющим, перпендикулярным первым, наблюдалось смещение интерференционных колец (это соответствует перемещению пластины перпендикулярно ребру клина).
6. Перемещая пластину по направляющим, перпендикулярным ребру клина, сосчитать число колец (N), переместившихся в поле зрения окуляра относительно штриха сетки, снять по шкале, нанесенной на направляющих, начальный и конечный отсчеты, соответствующие перемещению пластины на её длину L . Результаты измерений для всех контролируемых пластин занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ образца	Марка стекла	n	N	$L(M)$	$\operatorname{tg}\theta = \frac{N\lambda}{2nL}$	θ

7. Для одной из пластинок с максимальным N повторить несколько раз измерения, сняв по шкале отсчеты, соответствующие перемещению пластины на каждое кольцо. Данные измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

Перемещение пластины [мм]	Порядковый номер кольца	Разность оптической толщины пластины [мкм]

Исчезновению или появлению одного кольца соответствует изменение толщины пластины на $\frac{0,29}{n}$ [мкм], где n - показатель преломления материала пластинки.

8. На основании данных таблицы 2 построить графическую зависимость изменения толщины пластины в данном направлении от перемещения $d = \varphi(L)$. Оценить погрешность измерения клиновидности. (При построении графика изменения толщины пластины от перемещения, пользоваться методом наименьших квадратов).

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткую теоретическую часть.
2. Оптическую схему интерферометра Чапского.
3. Расчетную формулу для определения клиновидности (формулу 4).
4. Таблицы 1 и 2 результатов измерения клиновидности.
5. График изменения толщины пластины как функцию перемещения в направлении, перпендикулярном ребру клина.
6. Анализ погрешностей и вывод по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Объяснить разницу между интерференционными полосами равного наклона и равной толщины.
2. Почему при малой клиновидности контролируемой пластины наблюдаются полосы равного наклона?
3. В каком интервале клиновидности пластины могут производиться измерения с помощью интерферометра Чапского?
4. Назначение элементов оптической схемы интерферометра Чапского.
5. Для чего необходим контроль клиновидности плоскопараллельных пластин?
6. Какую минимальную клиновидность можно обнаружить с помощью интерферометра Чапского?
7. Как расширить диапазон измерений?
8. Какими причинами ограничивается верхняя граница измерений?

Литература

1. Захарьевский А.Н. Интерферометры. Оборонгиз, 1952г.
2. Нагибина И.М. Интерференция и дифракция света. - Л.:Машиностроение, 1974г.
3. Федотов Г.И., Новицкий Л.А., Гоменюк А.С. и др.; под ред. Новицкого Л.А. - М. Лабораторные оптические приборы. Учебное пособие для приборостроительных и машиностроительных вузов. - М. Машиностроение, 1979г.
4. Краткая теоретическая часть методических указаний стр.8

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИЗМ

Цель работы - изучение автоколлимационного метода измерения углов призм и его практическое освоение.

Автоколлимационный метод измерения углов состоит в следующем. Формируется световой пучок с малой расходимостью (теоретически параллельный). Этот пучок направляется на контролируемый объект, например, зеркало, пластину или призму. После отражения от объекта пучок изменяет

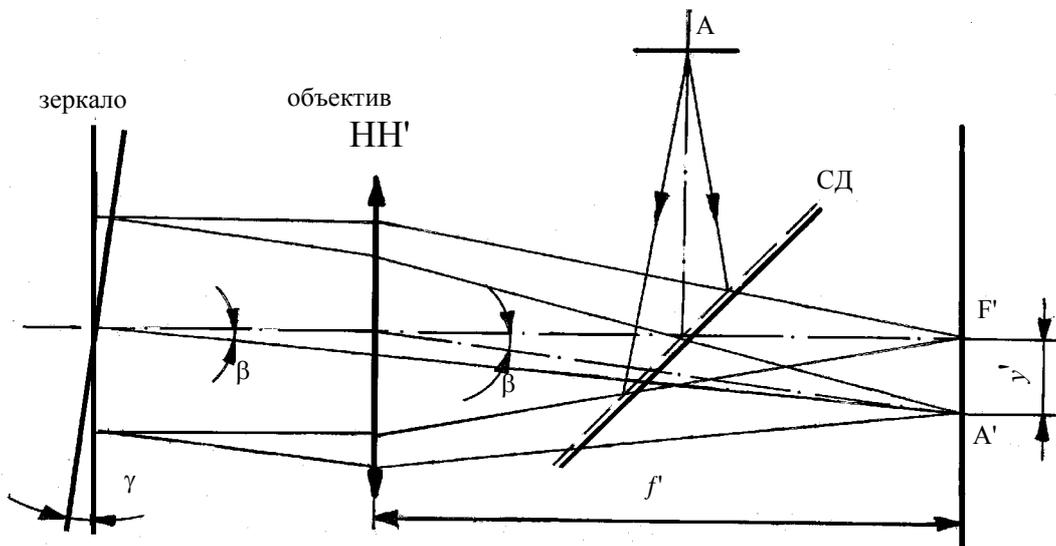


Рис.13. Автоколлимационный метод измерения углов угловую ориентацию. Угловая ориентация отраженного пучка регистрируется по координатам изображения, полученного от этого пучка. Рассмотрим упрощенную схему автоколлиматора для измерения углов (рис.13). Между объективом и его фокальной плоскостью установлена светоделительная поверхность СД. Тест-объект с центральной точкой А установлен в фокальной плоскости объектива и подсвечивается источником излучения. Лучи от точки А направляются светоделительной поверхностью в сторону объектива и выходят из него параллельным пучком. На некотором удалении от объектива располагается плоское зеркало, угловое положение которого измеряется. Если нормаль к поверхности зеркала совпадает с оптической осью, то отраженные им лучи, пройдя через объектив, образуют изображение А' точки А на оптической оси объектива, т.е. в точке F'. При появлении углового разворота объекта γ зеркало, будучи повернутым на тот же угол, отразит падающие от него лучи под углом 2γ . Таким образом, $\beta=2\gamma$. Изображение точки А в этом случае сместится с оптической оси на величину y' .

Измерив y' , найдем $\beta = \text{arctg} \frac{y'}{f'}$ или для малых углов $\beta = \frac{y'}{f'}$.

Теперь плоское зеркало с наружной отражающей поверхностью заменим клиновидной пластиной.

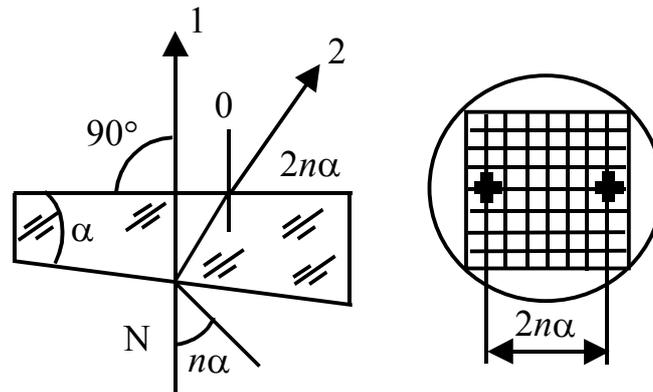


Рис.14. Автоколлимационное изображение марки, образованное отражением пучка от наружной и внутренней поверхностей клина

Если пластинку с углом клина α поместить перед объективом автоколлиматора, то в поле зрения окуляра будут видны два автоколлимационных изображения (1) и (2) марки, образованные отражением пучка от наружной и внутренней поверхностей (рис.14).

В зависимости от величины угла α клина и показателя преломления n материала детали, блики разойдутся вдоль главного сечения клина на величину $\delta = 2n\alpha$.

Величину угла α находят измерением по сетке автоколлиматора расстояния δ между бликами

$$\alpha = \frac{d}{2n} = \frac{H \cdot a}{2n} \quad (15)$$

где H - число квадратов сетки между бликами, a - цена деления сетки. Показатель преломления n материала берется с точностью до второго десятичного знака.

Контроль взаимного расположения рабочих поверхностей призм, разворачивающихся в плоскопараллельную пластинку, не отличается от рассмотренного. При наличии погрешностей в величине углов автоколлимационные блики будут расположены в различных участках сетки. Их расхождение пропорционально величине ошибки изготовления как в главном сечении, так и в направлении, ему перпендикулярном.

Определив погрешности для нескольких положений призмы и решив систему уравнений, связывающих погрешности с клиновидностью развертки, находят абсолютное значение углов и величину пирамидальности призмы. Если призма работает как $AP-90^0$, (рис.15.а), то существенна раз-

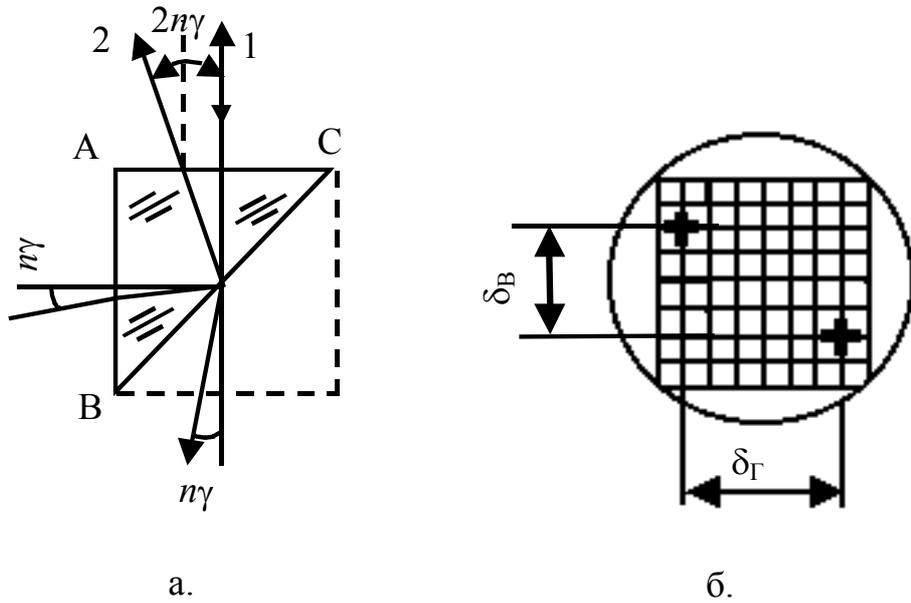


Рис.15. Измерение погрешности изготовления угла 45°
определение пирамидальности

ность в величине углов В и С, обозначаемая $\delta 45^\circ$, т.е. $B - C = \delta 45^\circ$. При наличии ошибок $\delta 45^\circ$ и пирамидальности π в поле зрения окуляра видны два блика (рис.15.б). Измерив расстояние между ними по горизонтали (δ_{Γ}) и вертикали ($\delta_{\text{В}}$) рассчитывают $\delta 45^\circ$ и пирамидальность π призмы:

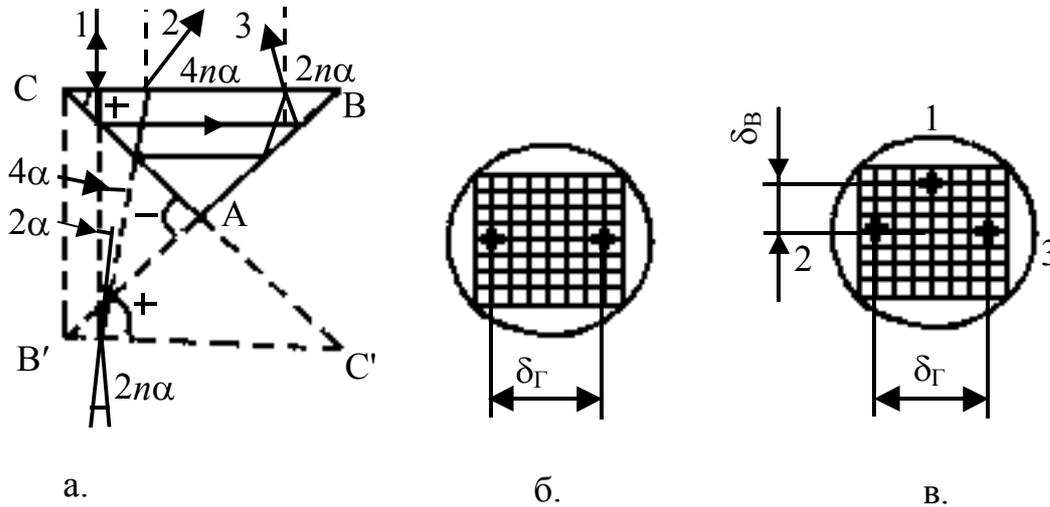


Рис.16. Измерение погрешности изготовления угла 90° и
определение пирамидальности

$$\delta 45^\circ = \frac{\delta_{\Gamma}}{2n}; \pi = \frac{\delta_{\text{В}}}{2n\sqrt{2}} \quad (16)$$

Знак $\delta 45^\circ$ определяют уменьшением рефлекса от задней поверхности, увлажняя дыханием гипотенузную грань. Исчезновение левого блика показывает, что $\delta 45^\circ > 0$, а правого $\delta 45^\circ < 0$.

Погрешность взаимного расположения поверхностей, образующих угол 90° ($\Delta 90^\circ$) контролируют по схеме работы призмы как БР - 180° (рис.16.а). Входной является гипотенузная грань.

Условие плоскопараллельности развертки:

$$C - A + B = 0 \text{ т.к. } A + B + C = 180^\circ, \text{ то } -2A + 180^\circ = 0.$$

Если угол A имеет погрешность, то $-2A + 180^\circ = 2\Delta 90^\circ$, $A = 90^\circ - \Delta 90^\circ$. Знак погрешности определяется положением вершины развертки относительно вершины угла 90° .

При контроле угла 90° в поле зрения окуляра в зависимости от яркости источника будут видны два и более бликов. Чаще пользуются двумя бликами (рис.16.б), которые остаются неподвижными в поле зрения при небольших поворотах предметного столика с призмой вокруг вертикальной оси. Погрешность угла 90° определяют:

$$\Delta 90^\circ = \frac{\delta_{\Gamma}}{4n}, \text{ и пирамидальность } \pi = \frac{\delta_{\text{В}}}{4n}.$$

Точку пересечения ребер призмы находят по трем подвижным бликам. Определяют расположение среднего блика (1) относительно крайних (2 и 3) (рис.16.в). Верхнее положение среднего блика показывает, что точка схождения ребер находится над призмой, а нижнее - под ней.

Наиболее наглядно знак погрешности угла 90° может быть определен при использовании поляризованного света. В измерительную схему вводят поляроиды P_1 и P_2 со скрещенными плоскостями поляризации.

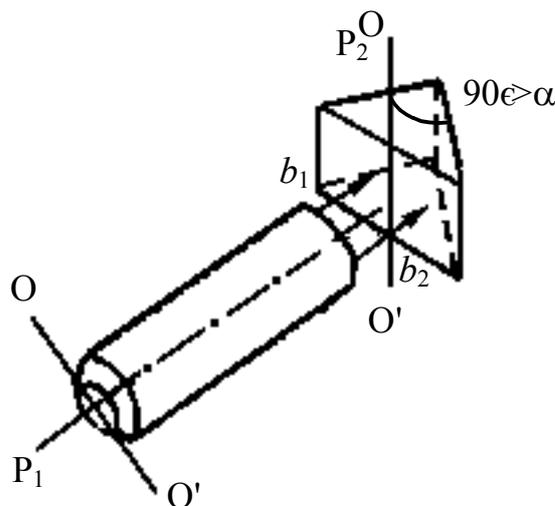


Рис.17. Схема определения знака погрешности угла 90°

Когда плоскость поляризации $O - O'$ составляет с ребром призмы угол $\alpha < 90^\circ$, один из лучей будет погашен. Если плоскость $O - O'$

параллельна или перпендикулярна ребру призмы прямого угла, одновременно гасятся оба луча. На рис.17 луч b_1 исчезает, т.к. выйдя из призмы, он поляризован в плоскости, перпендикулярной плоскости поляроида P_1 . Луч b_2 не исчезает, т.к. плоскость поляризации его после отражения внутри измеряемой призмы параллельна плоскости поляризации поляроида P_1 .

Исчезновение правого блика означает положительный знак погрешности прямого угла, гашение левого - отрицательный.

Для определения знака погрешности прямого угла плоскость поляризации поляроида P_2 должна быть почти параллельна ребру прямого угла призмы, а плоскость поляризации поляроида P_1 , ему перпендикулярна. Поляроид P_2 закрывает лишь половину гипотенузной грани или объектива.

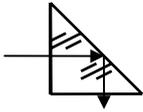
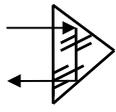
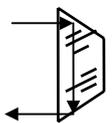
Построив развертки призмы и измерив погрешности взаимного расположения рабочих поверхностей с учетом знаков, получим систему уравнений.

$$\begin{cases} B - C = \delta 45^\circ \\ A = 90^\circ + \Delta 90^\circ \\ A + B + C = 180^\circ \end{cases} \quad (17)$$

Решение системы дает истинную величину углов A, B, C .

На производстве для измерения погрешностей изготовления углов различных типов призм пользуются не прямой, а приведенной ценой деления сетки, которая учитывает показатель преломления стекла, число отражений светового пучка при автоколлимации. В этом случае измеряемая погрешность определяется числом делений сетки.

Таблица 1

№ п/п	Тип призмы	Положение призмы	Погрешность	Угол отклонения в автоколлимационном ходе	Приведенная цена деления
1.	AP-90° (прямоугольная)		$\delta 45^\circ$ π	$3\delta 45^\circ$ $4,3\pi$	2' 1'20''
2.	БР-180° (прямоугольная)		$\Delta 90^\circ$ π	$6,1\Delta 90^\circ$ $6,1\pi$	1' 1'
3.	AP-0° (Дове)		$\Delta 90^\circ$ π	$6,1\Delta 90^\circ$ $6,1\pi$	1' 1'

В зависимости от типа проверяемой детали приведенная цена деления изменяется согласно таблице 1. В таблице 1 указаны значения приведенной цены деления для призм из стекла К8 ($n_D = 1,5163$).

Конструкция автоколлиматора

Свет (рис.18) от источника 1 через призму 2, конденсор 5, наклеенный на пластинку 3 с маркой, направляется на светоделительное зеркало 4, и, отразившись от него, проходит через призму 9, и объектив 7, параллельным пучком падает на контролируруемую деталь. Автоколлимационное изображение марки рассматривают на сетке 6 через окуляр 8. Перемещением объектива сопрягают автоколлимационное изображение марки с сеткой окуляра. Предметный столик 11 может быть повернут вокруг вертикальной оси и наклонен винтами 12. Сетка окуляра 6 разворачивается вокруг оси прибора с помощью окулярного кольца с накаткой.

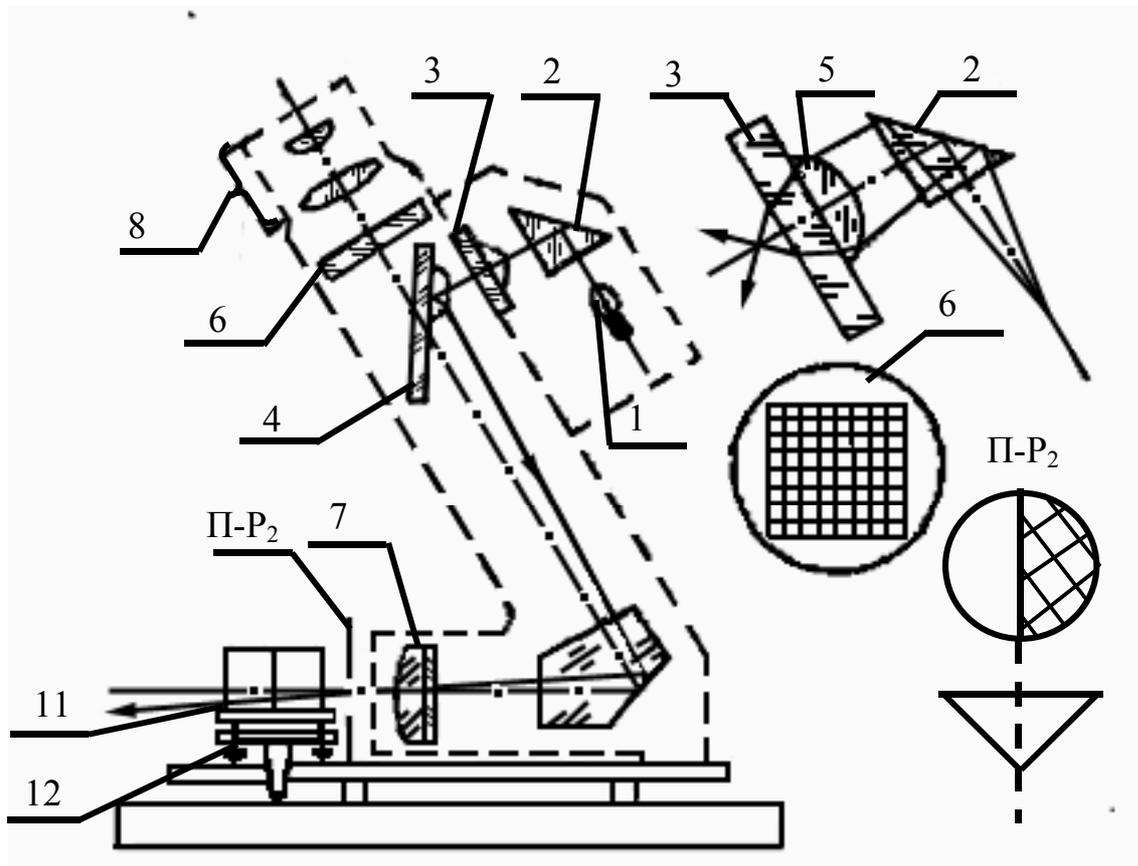


Рис.18. Оптическая схема автоколлиматора

Содержание работы

В процессе выполнения работы необходимо проконтролировать взаимное расположение рабочих поверхностей 4-х прямоугольных призм, работающих как АР-90° или БР-180°.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Измеряемые призмы установить нерабочей (шлифованной) поверхностью на столик прибора.

2. Для измерения $\delta 45^\circ$ призму повернуть катетной гранью к объективу автоколлиматора (рис.18) и, наблюдая автоколлимационные блики, определить величину и знак погрешности.

3. Установить призму гипотенузной гранью к объективу автоколлиматора, винтами наклона столика и его поворотом вокруг вертикальной оси привести наблюдаемые автоколлимационные блики в центр поля зрения.

4. Определить погрешность $\Delta 90^\circ$ по двум неподвижным бликам и пирамидальность призмы по трем подвижным бликам.

5. Надеть на окуляр оправу с поляроидом (на оправе указано направление плоскости поляризации) и определить знак погрешности $\Delta 90^\circ$.

6. По полученным данным определить углы измеряемых призм. Отсчеты по сетке автоколлиматора производить с точностью до 0,1 деления шкалы.

7. Результаты измерений занести в таблицу 2 (количество контролируемых призм определяет преподаватель, не менее четырех).

Таблица 2

№ призмы	$\delta 45^\circ$			$\Delta 90^\circ$			π	
	В делениях шкалы	В угловой мере	С учетом знака	В делениях шкалы	В угловой мере	С учетом знака	В делениях шкалы	В угловой мере

Истинные значения измеренных углов поставить на эскизах призм. В центре призмы стрелкой указать направление сходимости ребер призмы - пирамидальность. Если ребра сходятся над призмой, то на эскизе показывают начало стрелки - точка (\bullet), а ниже призмы - конец стрелки – перекрестие ($+$).

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткую теоретическую часть.
2. Оптическую схему прибора с ходом лучей.
3. Результаты измерений, сведенные в таблицу 2.
4. Данные расчета истинных значений углов 45° и 90° .
5. Эскизы призм с указанием рассчитанных углов.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Типы призм, контролируемых методом автоколлимации?
2. Цель определения знака погрешностей?

3. Способы определения знака погрешностей углов?
4. Способ определения знака погрешности прямого угла в поляризованном свете.
5. Почему изменяется приведенная цена деления сетки?

Литература

1. Погарев Г.В. Измерение углов и контроль плоскопараллельных пластинок. - Л.: Изд. ЛИТМО, 1963г.
2. Кривовяз Л.М., Пуряев Д.Т., Знаменская М.А. Практика оптической измерительной лаборатории. - М.: Машиностроение, 1974г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ В ОДНООСНЫХ КРИСТАЛЛАХ КОНОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы - изучение коноскопического метода ориентации одноосных кристаллов и контроль положения оптической оси в пластинках из кристаллического кварца.

Кристаллы, в отличие от стекол, характеризуются ярко выраженной анизотропией свойств. Механические, акустические, оптические, электрические и другие свойства кристаллов зависят от направления их измерения. Поэтому при изготовлении деталей необходимо знать положение оптической оси относительно рабочих поверхностей детали. Одним из методов определения ее положения является коноскопический, основанный на том, что в направлении оптической оси кристалла (у одноосного кристалла оптическая ось совпадает с кристаллографической) анизотропия оптических свойств отсутствует.

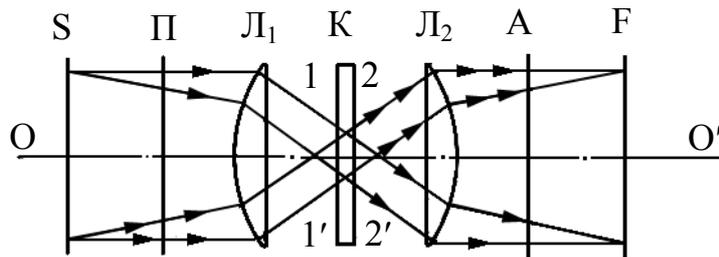


Рис.19. Образование коноскопической картины.

Оптическая схема коноскопа

Прежде чем приводить описание эффектов, получаемых при коноскопических наблюдениях, напомним несколько основных определений.

Плоскость падения - плоскость, содержащая падающий луч и нормаль к поверхности кристалла. Оптическая ось кристалла - прямая, проведенная через любую точку кристалла в направлении, в котором отсутствует двойное лучепреломление или направление, вдоль которого скорость распространения света не зависит от ориентации плоскости поляризации света. Главное сечение кристалла - плоскость, содержащая оптическую ось кристалла и проходящий через него луч.

Для объяснения эффектов, происходящих при наблюдениях, рассмотрим оптическую схему коноскопа (рис.19).

Он состоит из широкого источника света S, скрещенных поляризатора П и анализатора А, кристаллической пластины К, вырезанной перпендикулярно оптической оси кристалла, и двух плосковыпуклых линз Л₁ и Л₂, фокусы которых совмещены с центром кристаллической пластины. Плас-

тина освещается пучками параллельных лучей, угол и плоскость падения которых различны. Падающий от источника S пучок света разделяется в пластине К на два: обыкновенный, характеризуемый показателем преломления n_0 , и необыкновенный – n_B . Плоскость колебания вектора Е обыкновенного луча совпадает с плоскостью падения, плоскость колебаний вектора Е необыкновенного луча перпендикулярна плоскости падения. Линза L_2 дает интерференционный эффект в плоскости F. Поляризатор П и анализатор А обеспечивают возможность наблюдения интерференционной картины. При фиксированных положениях поляризатора и анализатора разность фаз Δ между обыкновенным и необыкновенным лучами, вышедшими под одинаковыми углами φ к оптической оси OO' , равна

$$\Delta = -\frac{2\pi}{\lambda} d \cdot \cos \varphi (n_B - n_0), \quad (18)$$

где d - толщина пластины; λ - длина волны падающего света.

Из формулы (1) видно, что лучи, имеющие равные углы наклона к оптической оси, будут иметь одинаковую разность фаз. Поэтому в плоскости F - плоскости локализации интерференционной картины - будут наблюдаться концентрические окружности. При использовании монохроматического света окружности имеют вид светлых и темных колец, соответствующих интерференционным максимумам и минимумам.

При скрещенных поляризаторе и анализаторе в центре интерференционной картины будет наблюдаться минимум.

Следует обратить внимание на непостоянство интенсивности концентрических колец по окружности. Действительно, можно показать, что интенсивность J света, прошедшего через поляризатор, зависит от углов α ,

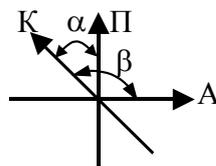


Рис.20. Определение углов α и β

β (рис.20) и разности фаз между обыкновенным и необыкновенным лучами Δ :

П - направление колебаний, пропускаемых поляризатором; А - направление колебаний, пропускаемых анализатором; К - направление одного из главных сечений кристаллической пластины: α меняется от 0 до 2π

$$J = J_0 \left[\cos^2(\beta - \alpha) - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2 \frac{\Delta}{2} \right], \quad (19)$$

где J_0 - интенсивность падающего на поляризатор света; α - угол между направлением колебаний, пропускаемых поляризатором и одним из

главных сечений пластины; β - угол между направлением колебаний, пропускаемых анализатором и тем же главным сечением пластины; $(\beta - \alpha)$ - угол между главным сечением поляризатора и анализатора. В нашем случае поляризатор и анализатор скрещены, т.е. $\beta - \alpha = \frac{\pi}{2}$ и формула (19) может быть упрощена:

$$J = J_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\Delta}{2} \quad (20)$$

Так как в пределах одного кольца $\Delta = \text{const}$, то изменение α вызовет изменение яркости кольца. При $\alpha = 0$ и $\frac{\pi}{2}$ (направления, совпадающие с направлением колебаний, пропускаемых поляризатором и анализатором) независимо от Δ яркость кольца равна нулю. Таким образом, интерференционная картина, получаемая от одноосного кристалла, будет представлять



Рис.21. Интерференционная картина от одноосного кристалла.

Оптическая ось перпендикулярна рабочим граням.

ряд concentric rings, пересекаемых темным крестом (рис.21), расширяющимся по мере увеличения угла падения света на пластинку.

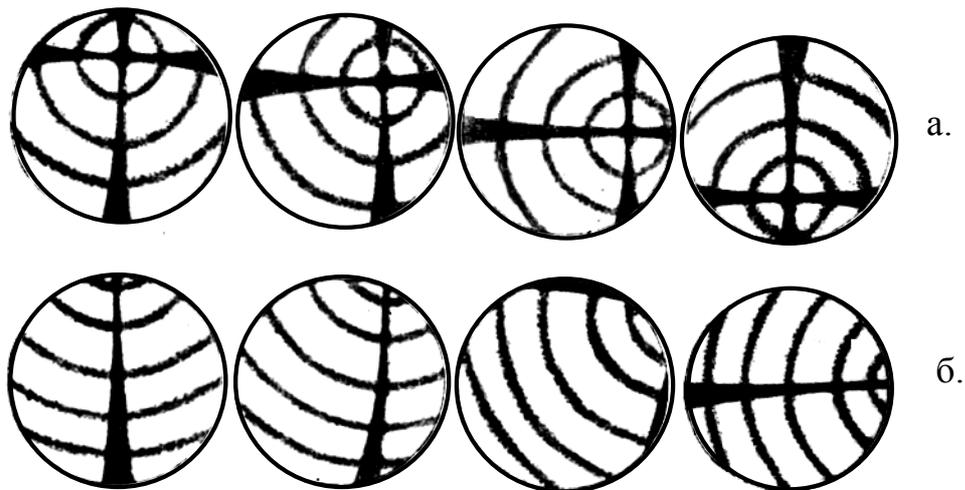


Рис.22. Смещение центра интерференционной картины при повороте кристаллической пластины

Если оптическая ось пластины K не перпендикулярна её рабочим граням ($1,1' - 2,2'$) и составляет некоторый угол γ с оптической осью OO' прибора (см.рис.19), то интерференционная картина в плоскости F сместится. При вращении кристаллической пластинки центр интерференционной картины будет описывать некоторую окружность вокруг центра поля зрения, а фигура будет перемещаться параллельно самой себе, что характеризует непараллельность осей OO' прибора и контролируемой пластины (рис.22.а - при выходе оптической оси в поле зрения микроскопа, б - в случае выхода оптической оси за пределы поля зрения).

Если рабочие грани пластины вырезана параллельно оптической оси кристалла, то в плоскости F будет наблюдаться интерференционная карти-

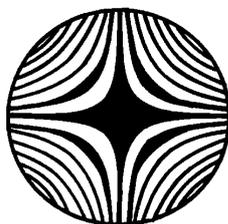


Рис.23. Интерференционная картина от кристалла, оптическая ось которого, ориентированна параллельно рабочим граням на, вид которой также можно определить из анализа формулы (19). Интерференционная картина, получаемая при скрещенных поляризаторе и анализаторе для этого случая, приведена на рис.23.

Если оптическая ось кристалла непараллельна рабочим граням пластины и составляет с ними угол малой величины, то картина в плоскости F (рис.23) сместится. При вращении пластины вокруг оси OO' центр картины будет описывать некоторую окружность, следовательно, и в этом случае смещение интерференционной картины характеризует неперпендикулярность оптических осей OO' прибора и кристаллической пластины.

Описание конструкции прибора

Для контроля ориентации оптической оси в работе используется поляризационный микроскоп, который состоит из коноскопа и собственно микроскопа с небольшим увеличением.

Внешний вид прибора приведен на рис.24. Коноскоп состоит из осветительной системы 6, поворотного столика 5, объектива 4, призмы-анализатора 3.

Микроскоп образован линзой Бертрана 2, окуляром 1.

Конструктивно эти элементы расположены следующим образом: объектив 4 и окуляр 1 укрепляются на концах тубуса, в котором установлена линза Бертрана 2. Тубус и линза Бертрана имеют независимые осевые перемещения.

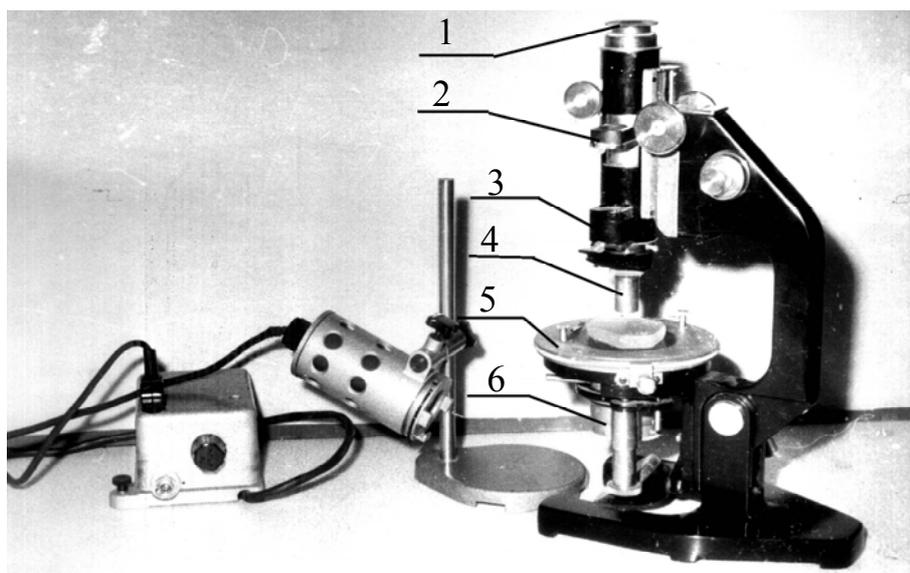


Рис.24. Общий вид коноскопа

Под линзой Бертрана расположена поляризационная призма-анализатор 3. На верхней части штатива укреплен поворотный столик 5 для установки исследуемой пластины.

Ниже располагается осветительная система 6, состоящая из двухлинзового конденсора, поляризатора и зеркала.

Полученную коноскопическую фигуру можно рассматривать только при включенной линзе Бертрана, которая вместе с окуляром составляет микроскоп, сфокусированный на фокальную плоскость объектива.

Фокусировка изображения достигается перемещением линзы Бертрана вдоль тубуса при помощи кремальеры.

Содержание работы

1. Изучить коноскопический метод ориентации одноосных кристаллов.
2. Определить ориентацию оптической оси в нескольких пластинках из кристаллического кварца относительно рабочих поверхностей.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. При вынутом окуляре 1 (см.рис.24) и выведенных анализаторе 3 и линзе Бертрана 2 заполнить светом выходной зрачок объектива подвижкой осветителя и наклоном зеркала микроскопа.
2. Ввести анализатор и поворотом поляризатора 6 установить максимальное потемнение (скрещенное положение поляризатора и анализатора).
3. Установить на столик микроскопа эталонную пластинку, предварительно нанеся на её рабочие грани иммерсию (керосин или смесь монобромонафталина с керосином), и наблюдать интерференционную картину в выходном зрачке окуляра.

4. Ввести в ход лучей окуляр и линзу Бертрана и получить резкое и контрастное изображение интерференционной картины. Для этого либо уменьшают диафрагму линзы Бертрана, либо передвигают осветительную систему. Небольшим поворотом анализатора добиться наилучшей яркости интерференционной картины, а затем проверить отсутствие биения последней вращением столика микроскопа с эталонной пластинкой.

5. Снять эталонную пластину и последовательно устанавливая на столик микроскопа исследуемые пластинки, предварительно смазав иммерсией поверхности, перпендикулярные оптической оси микроскопа. Наблюдая интерференционные картины, сделать выводы об ориентации оптической оси в контролируемых образцах.

Биение интерференционной картины относительно центра поля зрения при вращении столика с пластинкой означает, что нижняя рабочая грань пластинки не перпендикулярна (непараллельна) оптической оси кристалла.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание коноскопического метода ориентации оптической оси одноосных кристаллов.
2. Оптическую схему коноскопа.
3. Интерференционные картины, полученные от исследованных кварцевых пластин.
4. Выводы об ориентации оптической оси кристалла относительно рабочих поверхностей исследованных пластин.

Контрольные вопросы

1. Назначение элементов поляризационного микроскопа.
2. Причина появления креста в интерференционной картине одноосного кристалла, оптическая ось которого перпендикулярна его поверхности.
3. Как будет выглядеть картина одноосного кристалла при больших углах между оптическими осями коноскопа и кристаллической пластины?
4. Необходимость ориентирования оптической оси одноосного кристалла.

Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика.- М.: Наука, 1976г.
2. Нагибина И.М. Интерференция и дифракция света .- Л.:Машиностроение, 1974г..

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРИЗМ

Цель работы - расчет и практическое измерение предельного разрешения набора призм Дове.

Качество оптических систем и призм, входящих в состав этих систем, можно характеризовать разрешающей способностью.

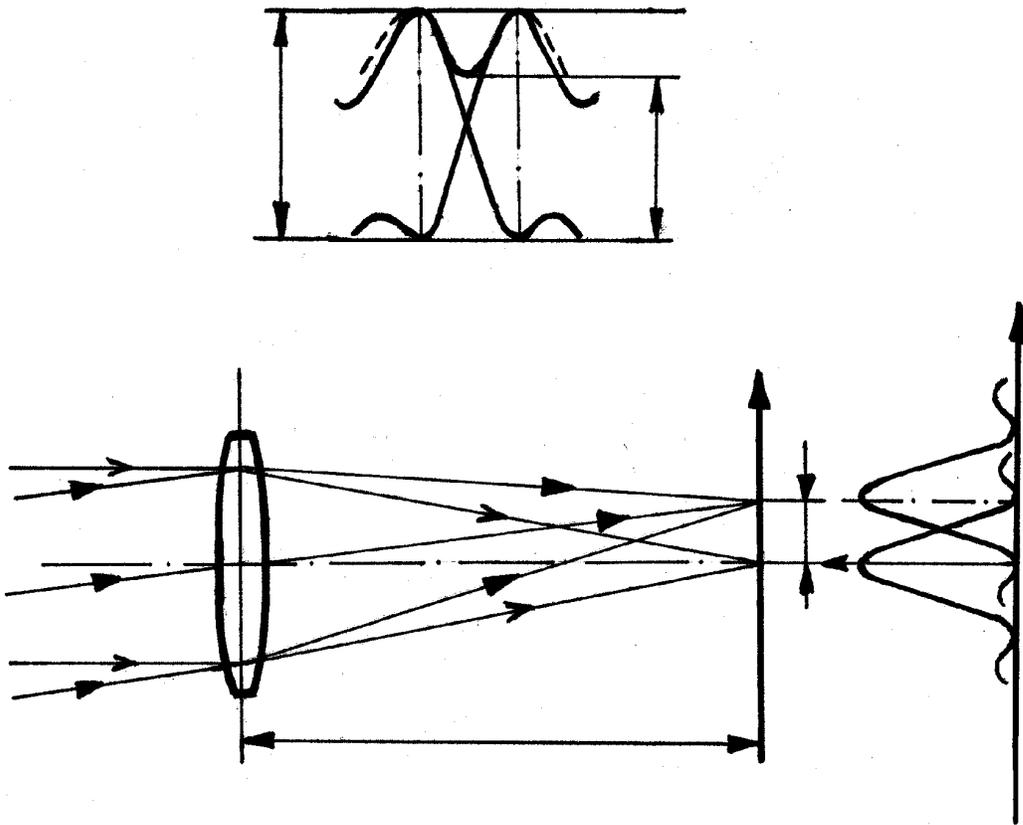


Рис.25. Разрешающая способность безабберационной оптической системы

Для оптических систем, работающих совместно с глазом, в частности для зрительных труб, под разрешающей способностью понимают наименьший угол, под которым видны раздельно две бесконечно удаленные точки.

Пусть предметом для безабберационной оптической системы с круглым входным зрачком является бесконечно удаленный точечный объект. Изображение этого объекта будет дифракционным пятном рассеяния, состоящим из центрального кружка и ряда колец, в которых освещенность падает до нуля.

Размер дифракционного пятна рассеяния принято характеризовать радиусом r центрального кружка (кружка Эри), в котором сосредоточена большая часть энергии. Этот радиус составляет величину

$$r = \frac{1,22\lambda f}{D} \quad (21)$$

где f - фокусное расстояние объектива зрительной трубы, D – свето-вой диаметр объектива.

Наложение дифракционных изображений двух бесконечно удаленных точечных источников иллюстрируется на рис.25. Результирующее распределение освещенностей, показанное пунктиром, образуется путем суммирования ординат распределений 1 и 2. По критерию Релея раздельное наблюдение изображения 1' и 2' двух близко расположенных точечных объектов возможно, когда расстояние x между ними равно радиусу центрального дифракционного кружка, т.е. $x = r$. В этом случае контраст элементов результирующего изображения, который вычисляется по формуле $K' = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$, составляет величину $K'=0,26$.

Теперь определим угол α_d , характеризующий разрешающую способность в случае наблюдения бесконечно удаленных точечных объектов. На рис.26 показан объектив, в фокальной плоскости которого построены дифракционные изображения 1' и 2' с расстоянием x между ними. Угол α определится как,

$$\alpha_d = \frac{x}{f'} \quad (22)$$

Полагая $x = r$ и подставив в (22) значение r из (21), получим,

$$\alpha_d = \frac{1,22\lambda}{D} \quad (23)$$

Подставив в (23) $\lambda=0,00055$ [мм], получим $\alpha_d = \frac{0,00067}{D}$ или

$$\alpha_d = \frac{140''}{D} \quad (24)$$

где D [мм].

Использование критерия Релея приводит к контрасту результирующего изображения $K=0,26$. Однако глаз способен различать два независимых изображения точек при $K=0,03...0,05$ (т.е. при несколько меньшем провале в результирующем распределении освещенности, чем показано на рис.25). Для этого значения контраста расстояние между изображениями точек $x=0,86r$ и, соответственно,

$$\alpha_d = \frac{120''}{D}$$

Угловое разрешение, полученное по формуле (25), можно считать теоретическим пределом.

Разрешающую способность приборов, используемых для наблюдения удаленных объектов (зрительные трубы, телескопы, специальные наблюдательные приборы), характеризуют угловой величиной $\alpha = \frac{\varpi}{\Gamma}$.

Где ϖ - предельный угол разрешения глаза, Γ - видимое увеличение прибора.

Применительно к задаче контроля разрешающей способности оптической системы изображение, построенное этой оптической системой должно наблюдаться глазом с достаточным увеличением (через микроскоп или окуляр). В этом случае выполняется условие $\alpha < \alpha_d$ и на результаты наблюдений не влияет ограниченная разрешающая способность глаза.

Размер изображения, построенного реальной оптической системой, может сильно отличаться от дифракционного, определенного по формуле (21). На размер изображения влияют aberrации оптической системы, неоднородность материала оптических деталей по показателю преломления, свильность, двойное лучепреломление, погрешности формы и расположения поверхностей оптических деталей. В результате реальная разрешающая способность может быть хуже, чем вычисленная по формулам (24), (25).

Описание установки

Установка (рис.26) состоит из зрительной трубы 1 с фокусными расстояниями объектива $f_{об.з.т.} = 1200$ [мм] и окуляра $f'_{ок.} = 16$ [мм] и коллиматора 2 с фокусным расстоянием объектива $f'_к = 1200$ [мм].

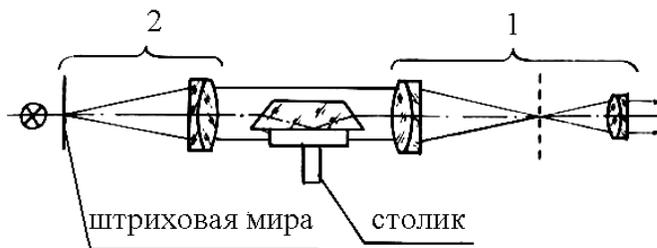


Рис.26. Оптическая схема установки

В фокальной плоскости объектива коллиматора установлена штриховая мира - стеклянная пластинка с нанесенной на неё таблицей (рис.27), которую составляют 25 элементов в виде квадратов. Каждый элемент содержит четыре группы параллельных светлых полос, разделенных темными промежутками и расположенных под углами 90° и 45° . Ширина темных промежутков убывает от элемента 1 к элементу 25 по закону геометри-

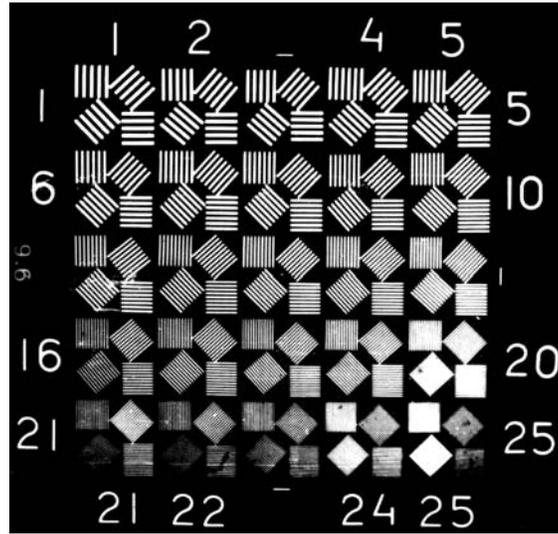


Рис.27. Штриховая мира

ческой прогрессии со знаменателем: $\frac{1}{\sqrt[12]{2}} = 0,944$.

В зависимости от фокусного расстояния f' объектива коллиматора каждому элементу мира соответствует определенный угол разрешения α'' , указанный в прилагаемой к описанию таблице. Угол разрешения α'' элемента мира, т.е. угловое расстояние между серединами соседних полос этого элемента:

$$\alpha'' = \frac{2a}{f'} (206265''), \quad (26)$$

где a - ширина светлой полосы, [мм]. В данной лабораторной установке используют миру №3.

Содержание работы

1. Определить точность, обеспечиваемую лабораторной установкой.
2. Вычислить и измерить разрешающую способность призм.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Измерить диаметр окружности, вписанной во входную грань, т.е. световой диаметр D призмы, и рассчитать теоретический угол α'' разрешения:

$$\alpha''_{\text{призмы теорт.}} = \frac{140''}{D}.$$

2. Измерить световые диаметры D объектива коллиматора и зрительной трубы. Определить их дифракционную разрешающую способность:

$$\alpha'' = \frac{120''}{D}.$$

3. Определить видимое увеличение зрительной трубы Γ_T и окуляра $\bar{\Gamma}_{ок}$

:

$$\Gamma_T = \frac{f'_{об.}}{f'_{ок.}}; \bar{\Gamma}_{ок.} = \frac{250}{f'_{ок.}}$$

4. Определить разрешающую способность зрительной трубы, ограниченную разрешающей способностью глаза $\alpha''_{зт.} = \frac{\varpi}{\Gamma_{зт.}}$, где ϖ - идеальный

угол разрешения глаза, равный $60''$. Проверить, обеспечивает ли объектив зрительной трубы необходимую разрешающую способность, сравнив $\alpha''_д$ и $\alpha''_{зт.}$.

5. Определить практические предельные углы разрешения призм ($\alpha''_{призм.практ.}$), для чего:

- ввести в ход параллельных лучей испытываемую призму, установив её на столик между коллиматором и зрительной трубой;

- из двух изображений миры в фокальной плоскости окуляра выбрать то, которое получается при прохождении светового пучка через призму Дове;

- добиться четкого изображения миры фокусировкой окуляра зрительной трубы;

- определить номер последнего элемента миры, штрихи которого разрешаются во всех четырех направлениях;

- по прилагаемой таблице (нормали мир) найти значение предельного угла разрешения α'' (табличное), соответствующего номеру этого элемента;

- откорректировать табличное значение для разрешения в соответствии с предельным углом объектива зрительной трубы ($\alpha''_{зт.}$), (α'' призм табличное, есть разрешающая сила оптической системы состоящей из компонентов с разной разрешающей силой: 1) зрительной трубы ($\alpha''_{зт.}$); 2) призм (α'' призм практическое).

- отметить качество полученного изображения миры.

6. Полученные результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ призм	№ последнего разрешаемого элемента миры	Качество изображения миры (двоение, окрашенность и т.д.)	α'' призм табличное	α'' призм практическое (скорректированное)	α'' призм теоретическое

--	--	--	--	--	--

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткую теоретическую часть.
2. Схему экспериментальной установки.
3. Основные расчетные формулы и результаты расчетов.
4. Таблицу экспериментальных и расчетных данных.
5. Сравнение теоретической и практической разрешающих способностей.
6. Вывод, а также объяснение причины расфокусировки изображения миры, получающейся для ряда призм.

Контрольные вопросы

1. Что такое разрешающая способность?
2. Для чего в лабораторной установке для контроля разрешения призм осуществляется параллельный ход лучей?
3. Почему мира устанавливается в фокальной плоскости объектива коллиматора?
4. Почему в фокальной плоскости окуляра зрительной трубы получается два изображения миры?
5. Какие причины вызывают расфокусировку изображения миры?

Литература

1. Кривовяз Л.М., Пуряев Д.Т., Знаменская М.А. Практика оптической измерительной лаборатории. - М.: Машиностроение, 1974г.
2. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. - М.: Машиностроение, 1966г..

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

КОНТРОЛЬ ФОРМЫ ПОЛИРОВАННЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ

Цель работы - изучение теневого метода контроля формы вогнутой сферической поверхности.

Основные положения

Одним из частных случаев применения теневого метода является контроль формы сферических поверхностей крупногабаритных оптических деталей. Метод отличается простотой реализации и высокой чувствительностью ($0,015 \lambda - 0,005 \lambda$).

Форма волнового фронта падающего света должна быть известна заранее или соответствовать идеальной форме поверхности контролируемой детали. При отражении фронта световой волны от поверхности, имеющей зональные и местные ошибки, он деформируется в соответствии с видом и конфигурацией этих ошибок. Деформация h фронта: $h = 2\Delta \cos \varepsilon$,

где Δ - ошибка поверхности детали; ε - угол падения света на поверхность детали.

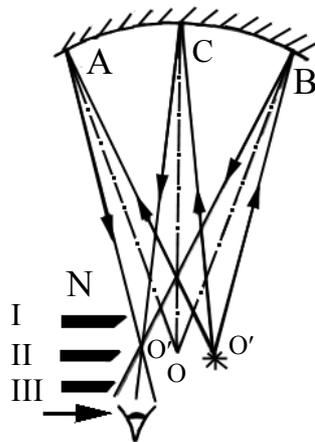


Рис.28. Оптическая схема теневого метода

Схема контроля вогнутых сферических поверхностей приведена на рис.28. Здесь в плоскости центра кривизны O поверхности расположен точечный источник света O' . Лучи, отраженные от контролируемой поверхности, проходят через щель, ширина которой может быть изменена перемещением плоского экрана (лезвия) N - ножа Фуко.

Глаз наблюдателя должен находиться на таком расстоянии от плоскости ножа, чтобы все отраженные лучи попали на сетчатку. Возможны три варианта расположения ножа (рис.28): до центра кривизны (положение I); в плоскости центра кривизны (положение II) за центром кривизны (положение III). Если нож находится в положении I, то при его

движении слева направо перпендикулярно оптической оси сначала пере-кроется луч $O''A$, затем $O''C$ и последним - $O''B$. Поэтому наблюдатель увидит перемещение тени по поверхности детали в направлении перемещения ножа. Если нож находится в положении III, то его движение приведет к экранированию луча $O''B$, а потом $O''C$, затем $O''A$. Тень будет перемещаться навстречу ножу. В положении II можно ожидать мгновенного потемнения в момент касания кромки ножа точки O'' . Однако, так как O'' представляет собой площадку конечных размеров, то при её перекрытии наблюдатель увидит быстрое равномерное потемнение всей поверхности детали.

Для обнаружения ошибок контролируемой поверхности нож помещают в одно из трех положений. Вид ошибки определяется её положением относительно идеальной границы раздела двух сред. Если в некоторой области поверхность детали выступает над идеальной границей раздела, то такую ошибку называют «бугром», а если наоборот, то «ямой».

Пусть сферическая поверхность детали имеет ошибку в виде местного «бугра». Если нож расположен за центром кривизны (рис.30), то при его движении слева направо перпендикулярно оптической оси произой-



Рис.29. Теневые картины детали с местной ошибкой «Бугор»

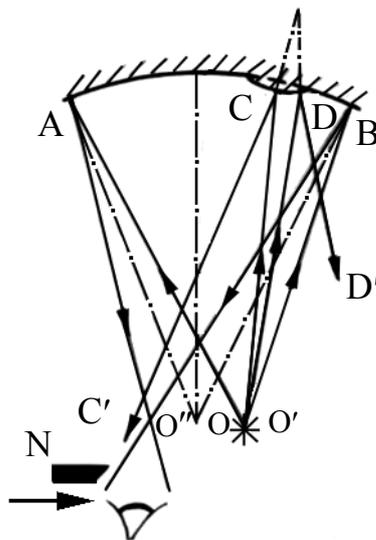


Рис.30. Схема образования теневой картины
дет срезание луча $O''A$, т.е. тень будет перемещаться по контролируемой поверхности навстречу ножу. В зоне расположения ошибки формы поверхности луч CC' перекроется ножом раньше, чем луч DD' , и направле-

ние движения тени в этой зоне будет противоположно её движению по всей поверхности детали. Характер изменения теневой картины для данного случая показан на рис.29. Пусть нож находится в том же положении (за центром кривизны), а поверхность сферической детали имеет ошибку в виде местной «ямы» (рис.31). Общая тень на поверхности детали, как и в предыдущем примере, будет перемещаться навстречу ножу. Тень в зоне ошибки, в отличие от рассмотренного ранее случая, будет двигаться в том же направлении, что и тень на всей поверхности, т.к. сначала перекроется луч $O'D'$, а потом уже $O'C$. Характер изменения теневой картины для данного примера приведен на рис.32.

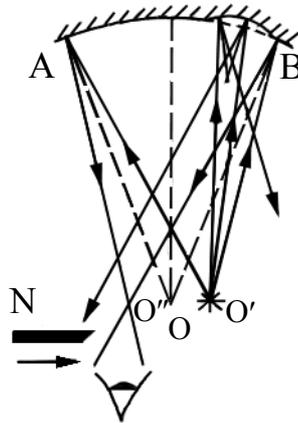


Рис.31. Схема образования теневой картины

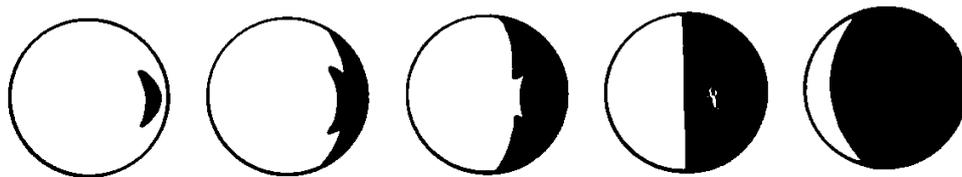


Рис.32. Теневые картины детали с местной ошибкой «Яма»

Описание установки

Установка (рис.33) состоит из источника света 1, линз 2 и 3 и призмы 4, проецирующих изображение источника в плоскость диафрагмы 5, контролируемой детали 8 и ножа 6. Источник света, проецирующая система, нож и контролируемая деталь, установлены на оптической скамье. Световые лучи, отраженные от сферической детали, проходят через щель. Ширину её изменяют перемещением ножа 6, который приводится в движение винтом 7.

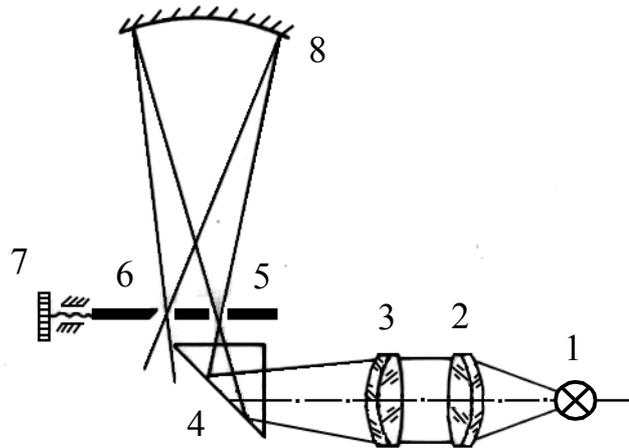


Рис.33. Оптическая схема теневой установки

Содержание работы

При выполнении работы необходимо определить вид и место расположения местной ошибки на поверхности сферической детали.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Вращая винт 7, раскрыть щель и наблюдать полностью освещенную контролируемую поверхность детали.
2. Постепенно перемещая нож слева направо поворотом винта, наблюдать движение тени. По направлению её движения определить, в каком положении находится нож по отношению к центру кривизны поверхности контролируемой детали (одно из трех).
3. Зарисовать теневую картину для 6-8 различных положений ножа, начиная с момента, когда деталь полностью освещена, и кончая случаем, когда отраженные от неё световые лучи почти полностью перекрываются.
4. По полученным эскизам определить вид ошибки (местный «бугор» или местная «яма»), её конфигурацию и место расположения.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Схему теневого метода контроля формы поверхности с указанием положения ножа.
2. Схему установки.
3. 6-8 теневых картин и выводы по определению вида, конфигурации и места расположения ошибки на поверхности оптической детали.

Контрольные вопросы

1. Какова чувствительность теневого метода?

2. Как зависит выбор формы волнового фронта от формы контролируемой поверхности?

3. Можно ли на данной теневой установке контролировать плоские поверхности?

4. Какой вид имеют теневые картины для одной и той же ошибки формы поверхности в случае расположения ножа до центра кривизны контролируемой детали, в центре кривизны и за ним?

5. Позволяет ли теневой метод количественно оценить ошибку формы поверхности оптических деталей?

Литература

1. Максutow Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики. М.-Л.: Гостехиздат, 1948г.

2. Кривовяз Л.М., Пуряев Д.Т., Знаменская М.А. Практика оптической измерительной лаборатории. -М.: Машиностроение, 1974г..

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

СКЛЕИВАНИЕ ЛИНЗ

Цель работы - изучение одного из способов соединения деталей между собой - склеивания линз термопластичным клеем (пихтовым бальзамом).

Цель соединения деталей между собой - точная фиксация их взаимного положения и уменьшение количества света, отражаемого свободными поверхностями. Если, например, между положительной линзой из стекла марки К8 и отрицательной линзой из стекла марки ТФ1 будет воздушный промежуток, то количество света, отражаемого свободными поверхностями, составит $\sim 18\%$. Приведя поверхности в соприкосновение, или заполнив промежуток между ними средой с показателем преломления равным или близким показателю преломления одной из линз, потери света на отражение уменьшаются примерно до 10% . Для уменьшения потерь излучения на отражение от оставшихся свободных поверхностей до минимума останется только их просветлить. Склеивание - наиболее распространенный способ соединения оптических деталей. Технологию этого процесса определяют: тип, размер и материал деталей, технические требования к соединению, агрегатное состояние клея и его свойства. Склеенные детали должны удовлетворять требованиям, заданным чертежом, в частности: допуску C на децентрировку, чистоте клеящего слоя, чистоте и точности формы внешних поверхностей и др..

Линзы, в большинстве случаев, склеивают веществами, (бальзамин-М, ОК-72Ф, ОК-50 и др.), которые при комнатной температуре находятся в жидком состоянии и не требуют прогрева соединяемых деталей для ускорения или завершения процесса полимеризации. Термопластичный клей - пихтовый бальзам, используемый в настоящей работе, требует предварительного нагрева до вязкого состояния и его применяют в основном для склеивания микрооптики.

Клеящие вещества должны удовлетворять следующим требованиям: прозрачность, бесцветность, чистота, оптическая однородность и определенный показатель преломления, отсутствие деформации соединяемых деталей, механическая прочность, морозостойкость и термостойкость соединения, простота расклейки деталей в случае некачественного соединения.

Процесс склеивания линз состоит из нескольких последовательно выполняемых операций:

- подготовка деталей и клея. Соединяемые поверхности предварительно скомплектованных линз промывают, чистят и накладывают друг на

друга. Их свободное перемещение относительно друг друга на тонкой воздушной подушке и появление интерференционной картины при уменьшении воздушной прослойки нажатием на верхнюю линзу является показателем правильности комплектации и качественной чистки соединяемых поверхностей. Сложенные парами детали нагревают до 100 - 130°C.

- собственно склеивание. Сняв положительную линзу, на поверхность отрицательной наносят необходимое количество клея. В нашем случае пихтовый бальзам, находящийся в пробирке, нагревают на плитке до вязкого состояния. Вновь установив положительную линзу и прижимая её к нижней, толщину слоя доводят до минимально возможной (до 0,01 - 0,02 [мм.]). Уменьшение толщины клеящего слоя увеличивает механическую прочность и морозостойкость соединения.

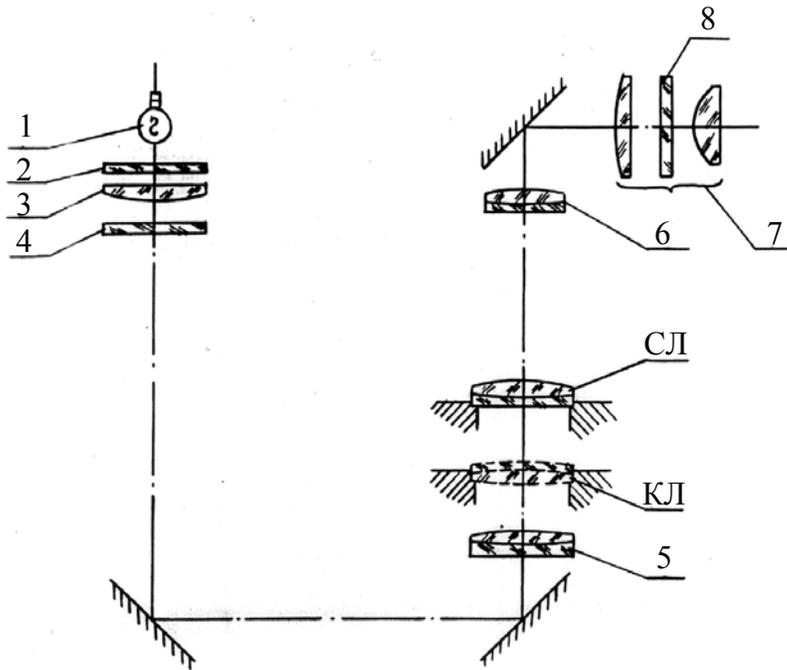
- центрирование компонента. До затвердевания клея совмещают оптические оси склеиваемых линз. Их взаимное положение контролируют с помощью оптического прибора.

- выдержка и охлаждение компонента в положении, исключающем смещение линз относительно друг друга и нарушение их центрировки.

Устройство прибора для центрирования склеиваемых линз

Оптическая схема прибора (рис.34) составлена из элементов, образующих коллиматор и микроскоп. В коллиматор входят: источник света 1, матовое стекло 2, конденсор 3, сетка 4, установленная в фокальной плоскости объектива 5. Микроскоп составляют: объектив 6, окуляр 7 с сеткой 8. Склеиваемую пару линз СЛ устанавливают в параллельном пучке за объективом 5. Изображение сетки 4 рассматривают в микроскоп. Если оптические оси склеиваемых линз не совпадают, то при их вращении в оправе, центр перекрестия сетки коллиматора будет перемещаться в поле зрения микроскопа по окружности. Для определения величины перемещения на сетке окуляра нанесена шкала. Число m делений, укладываемых в диаметр описываемой окружности, соответствует удвоенной величине децентрировки C .

Микроскоп может быть поднят или опущен по вертикальной направляющей, что позволяет контролировать совмещение оптических осей линз с фокусным расстоянием f от 40 до 240[мм.]. Если фокусные расстояния выходят за указанные пределы, т.е. $f' > 240$ и $f' < 40$ [мм.], в ход лучей вводят компенсационную линзу КЛ при этом изображение сетки 4 рассматривают в эквивалентном фокусе системы - склеиваемая линза + компенсационная линза. Набор компенсационных линз с различными фокусными расстояниями $f'_{к.л.}$ укреплен на поворотном диске и любая из них может быть введена в ход лучей



оптической системы. Значение $f'_{к.л.}$ включенной линзы нанесено на стороне диска, обращенной к работающему на приборе.

Рис.34. Оптическая схема прибора для центрирования склеиваемых линз

Содержание работы

1. Изучить описание работы и конструкцию прибора для центрирования склеиваемых линз.

2. Рассчитать предельную величину (число m делений) перемещения центра сетки коллиматора по шкале сетки окуляра для заданного допуска C на децентрировку склеенных линз с учетом их фокусного расстояния f' .

3. Произвести склеивание линз с центрировкой их на приборе.

4. Рассчитать величину остаточной децентрировки $C_{ост}$, измерив остаточную предельную величину m перемещения сетки коллиматора по шкале сетки окуляра.

5. Определить толщину клеящего слоя.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. По заданной величине C допуска на децентрировку и f' склеиваемой линзы рассчитать число m делений, в пределах которых центр сетки коллиматора может перемещаться по шкале сетки микроскопа.

При совмещении оптических осей линз с фокусным расстоянием f' от 40 до 240 [мм.], число делений m определяют по формуле:

$$m = \frac{C \cdot 2\beta}{a}$$

где β - линейное увеличение объектива микроскопа ($\beta=10^X$);
 a - цена деления шкалы сетки ($a = 0,1$ [мм]).

При совмещении оптических осей линз с фокусным расстоянием, величина которого требует введения компенсационной линзы, на склеиваемую линзу будет падать непараллельный пучок. Поэтому величина перемещения центра сетки коллиматора в поле зрения микроскопа не будет соответствовать фактической децентрировке C .

В этом случае:
$$m = \frac{C \cdot 2\beta}{a} \cdot \frac{S'_0}{f'}$$
,

где S'_0 - расстояние от задней главной плоскости склеиваемой линзы до эквивалентного фокуса f'_Δ .

$$f'_\Delta = \frac{f' \cdot f'_{\text{к.л.}}}{f' + f'_{\text{к.л.}} - h} \text{ и } S'_0 = f'_\Delta \left(1 - \frac{h}{f'_{\text{к.л.}}}\right),$$

где $h = 32$ [мм] - расстояние от задней главной плоскости компенсационной линзы до передней главной плоскости склеиваемых линз.

Фокусное расстояние $f'_{\text{к.л.}}$ компенсационной линзы выбрать по таблице 1 в зависимости, от величины f' склеиваемой линзы.

Таблица 1

f'		$f'_{\text{к.л.}}$	f'		$f'_{\text{к.л.}}$
∞	до -500	+ 198	от + 26	до + 54	- 41,7
от - 500	до - 100	+ 101	от + 28	до + 66	- 57,8
от + 8	до + 10	+ 21,3	от + 31	до + 120	- 209
от - 100	до - 25	+ 56	от +31	до + 84	- 101
от + 13	до + 20	+ 9,8	от + 35	до + 240	∞
от + 21	до +38	- 17,4	от + 40	до +5000	+ 253

2. Рассчитать величину m , подготовить детали и клей, склеить линзы. Прижатием верхней (положительной) линзы к нижней (отрицательной) получить минимальную толщину клеящего слоя.

3. Находящиеся в нагретом состоянии соединенные линзы установить в оправу прибора. Подвижкой микроскопа добиться четкого изображения сетки коллиматора. Вращая оправу и перемещая верхнюю линзу по нижней совместить их оптические оси. При этом диаметр окружности, описываемой центром сетки коллиматора должен быть минимальным.

4. Центрированный компонент охладить. Замерить величину m и рассчитать величину остаточной децентрировки $C_{\text{ост.}}$.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткую теоретическую часть.
2. Оптическую схему прибора для совмещения оптических осей склеиваемых линз, ход лучей в нем и краткое пояснение принципа действия.
3. Допустимое перемещение t центра сетки коллиматора по шкале сетки окуляра при заданном допуске C на децентрировку и фокусном расстоянии f' склеиваемых линз.
4. Величину остаточной децентрировки $C_{\text{ост.}}$ после склеивания и центрирования линз.

Контрольные вопросы

1. Цель и способы соединения оптических деталей между собой.
2. Клеящие вещества и требования к ним.
3. Принцип работы прибора для совмещения оптических осей склеиваемых линз.
4. Назначение элементов оптической схемы прибора.
5. Назначение и выбор компенсационной линзы.
6. Чем определяется точность измерения величины децентрировки на данном приборе?

Литература

1. Семибратов М.Н. Технология оптических деталей. - М.: Машиностроение, 1978г.
2. Кузнецов С.М., Окатова М.А. Справочник технолога - оптика. - Л.: Машиностроение, 1983г..

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХРОМА В КРИСТАЛЛАХ СИНТЕТИЧЕСКОГО РУБИНА

Цель работы: исследование спектральной зависимости пропускательной способности и измерение концентрации трехвалентного хрома Cr^{+3} в образцах синтетического рубина спектрофотометрическим методом.

Кристаллы синтетического рубина используются для изготовления активных тел квантовых генераторов. Важнейшей их характеристикой является концентрация S хрома Cr^{+3} которая определяет мощность генерации ОКГ, влияет на положение спектральной полосы пропускания. Если хром располагается неравномерно в объеме материала, то неравномерным будет и распределение энергии по сечению излучаемого пучка.

Характер распределения примесей Cr^{+3} по радиусу кристалла зависит от формы изотермы кристаллизации в процессе выращивания рубина. Если изотерма выпуклая, то наименьшая концентрация Cr^{+3} получается на краях, если вогнутая, то в центре. Величина S , согласно закону Бугера-Бера, находится в линейной зависимости от оптической плотности материала и может быть определена из следующих соображений. Пусть световой поток проходит через плоскопараллельную пластинку рубина. Если принять равными потери на отражение от первой и второй поверхностей образца, то прошедшая энергия I_λ на длине волны λ вычисляется по формуле:

$$I_\lambda = I_{0\lambda} (1 - R_\lambda)^2 e^{-k_\lambda d} \quad (27)$$

где $I_{0\lambda}$ - энергия падающего светового пучка,

R_λ - отражательная способность,

k_λ - показатель поглощения вещества,

d - толщина пластины.

Для длины волны λ_{\max} , соответствующей максимуму поглощения примеси, выражение (27) имеет вид:

$$I_{\lambda_{\max}} = I_{0\lambda_{\max}} (1 - R_{\lambda_{\max}})^2 e^{-k_{\lambda_{\max}} d}$$

Так как вне полосы поглощения K_λ примеси близок к нулю, формула (27) для этой части спектра:

$$I_\lambda = I_{0\lambda} (1 - R_\lambda)^2$$

Напишем выражение пропускательной способности T :

$$T_{\lambda_{\max}} = K \frac{I_{\lambda_{\max}}}{I_{0\lambda_{\max}}} = (1 - R_{\lambda_{\max}})^2 \cdot e^{-k_{\lambda_{\max}} d}$$

$$T_\lambda = K \frac{I_\lambda}{I_{0\lambda}} = (1 - R_\lambda)^2 \cdot$$

Отсюда:

$$\lg T_{\lambda_{\max}} = 2\lg(1 - R_{\lambda_{\max}}) - (k_{\lambda_{\max}} \cdot d) \lg e,$$

$$\lg T_{\lambda} = 2\lg(1 - R_{\lambda}).$$

Зная, что $k_{\lambda_{\max}} = A C$,

где A - константа, зависящая от свойств поглощающего вещества.

В данном случае хрома, можно определить его концентрацию:

$$C = \frac{\lg T_{\lambda} - \lg T_{\lambda_{\max}} - 2\lg \frac{1 - R_{\lambda}}{1 - R_{\lambda_{\max}}}}{A d \lg e}.$$

Последнее слагаемое в числителе полученного выражения учитывает дисперсию показателя преломления n вещества, так как

$$R_{\lambda_{\max}} = \frac{(1 - n_{\lambda_{\max}})^2 - k_{\lambda_{\max}}}{(1 - n_{\lambda_{\max}})^2 + k_{\lambda_{\max}}}.$$

Поправку на дисперсию n можно принять равной 0,001. Зная, что для хрома

$$\frac{1}{A \lg e} = 0,342 \text{ и подставляя } d \text{ в миллиметрах, получим выражение для}$$

определения концентрации хрома $C_{Cr^{+3}}$ в процентах

$$C = \frac{0,342(\lg T_{\lambda} - \lg T_{\lambda_{\max}} - 0,001)}{d} \% \quad (28)$$

$$(d = 5 \text{ [мм]})$$

Описание установки

Установка для измерения концентрации хрома смонтирована на оптической скамье состоит из осветителя с лампой накаливания, модулятора, двух линз фокусирующей системы, диафрагмы, столика для образцов, монохроматора МДР - 2 и регистрирующего устройства: ФЭУ и цифрового вольтметра.

Оптическую схему экспериментальной установки начертить самостоятельно. Свет от лампы накаливания 1, находящейся в фокусе линз 2, проходит через модулятор, линзу 2, диафрагму 3 и исследуемый образец 4, параллельным пучком падает на линзу 5, фокус которой совмещен с входной щелью 6 монохроматора. Вышедший из объектива 7 коллиматора параллельный пучок проходит диспергирующую призму 8 и объективом 9, зрительной трубы монохроматора, фокусируется на выходную щель 10, с которой совмещено входное окно регистрирующего фотоприемника. Питание фотоприемника ФЭУ, усилителя ФЭУ и лампы накаливания осветителя осуществляется стабилизированными выпрямителями БЗ-3 и ТЭС-21.

Содержание работы

В данной лабораторной работе необходимо измерить спектральный коэффициент пропускания и построить зависимость $T = T(\lambda)$ в области λ 460÷720[нм]; подсчитать концентрацию хрома в образцах синтетического рубина; для одного из исследуемых образцов, по концентрации в десяти различных точках на поверхности образца, сделать качественное заключение о виде изотермы кристаллизации рубина.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Подготовка оборудования.

1.1. Проверить соединение осветителя и фотоприемника с соответствующими источниками питания.

1.2. Проверить включение в сеть монохроматора.

1.3. Выставить ширину входной и выходной щелей монохроматора 0,02 мм.

1.4. Закрепить исследуемый образец на столике.

1.5. Включить в сеть выпрямителя.

1.6. На передней панели цифрового вольтметра установить необходимый диапазон измерений (ручку "род работ" в положение 1 или 10[V]).

1.7. На передней панели высоковольтного выпрямителя установить тумблер «СЕТЬ 220» в положение «ВКЛ».

1.8. Переключателем «КИЛОВОЛЬТЫ» установить напряжение 1,2[кВ].

Перед началом измерений следует проверить градуировку монохроматора

2. Проверка градуировки монохроматора.

ВНИМАНИЕ! Напряжение питания ФЭУ должно быть выключено, чтобы не вывести из строя фотоприемник.

2.1. На оптическую скамью, между осветителем 1 и линзой 2, поместить ртутную лампу ГРС - 50 и проверить ее включение в блок питания.

2.2. На входной щели монохроматора закрепить насадку для проведения градуировки.

2.3. Включить блок питания в сеть.

2.4. Пользуясь призматическим спектром ртутной лампы, проверить несколько точек на градуировочной кривой и, если есть расхождения, провести градуировку монохроматора.

3. Измерение спектрального коэффициента пропускания T_λ и вычисление концентрации хрома. Измерение T_λ производится для трех образцов в спектральном интервале 460÷720[нм] с шагом 20[нм].

3.1. На монохроматоре, пользуясь градуировочной кривой, выставить необходимую длину волны.

3.2. Установить держатель образцов так, чтобы свет проходил через диафрагму, минуя образец.

3.3. Снять отсчет по цифровому вольтметру. Определенная таким образом величина T_1 принимается за 100% пропускания.

3.4. Ввести в световой поток, исследуемый образец.

3.5. Снять отсчет T_2 по цифровому вольтметру.

3.6. Определить пропускание T_{λ_1} образца на данной длине волны:

$$T_{\lambda_1} = \frac{T_2 - T_T}{T_1 - T_T} \cdot 100\%$$

T_T - значение темного или фонового напряжения ФЭУ, отсчет снимается при перекрытии потока непрозрачным экраном.

Последовательность операций п.п. 3.3 - 3.5 повторить необходимое число раз.

Из полученных данных отбросить значения, отличающиеся от среднего более чем на 20%.

3.7. Выставить следующую длину волны, повторить пункты 3.2÷3.7 необходимое число раз.

3.8. Найти спектральную область где T_λ минимально. Определить границы области \min пропускания ($\lambda_1 \div \lambda_2$).

3.9. В найденном спектральном интервале $\lambda_1 \div \lambda_2$ провести измерение T_λ с шагом менее 5[нм].

3.10. Определить λ_{\max} на которой спектральный коэффициент пропускания T_λ имеет минимальное значение - $T_{\lambda_{\max}}$.

4. Построить зависимость $T = T(\lambda)$ для трех образцов.

4.1. Пользуясь формулой (28), вычислить концентрацию хрома Cr^{+3} в исследуемых образцах.

5. Исследование равномерности распределения хрома по объему образца. Пользуясь описанной выше методикой, определить концентрацию хрома в десяти различных точках одного из образцов и сделать выводы относительно вида изотермы кристаллизации рубина.

5.1. На длине волны λ_{\max} измерить коэффициент пропускания в различных точках образца (через центр от одного края к другому с шагом 2[мм]).

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Оптическую схему установки, таблицы результатов измерений и вычисленной T_λ и C .

2. Графики зависимостей $T = T(\lambda)$ и выводы о влиянии концентрации трехвалентного хрома на поглощение образцов, и на смещение спектральной полосы пропускания, а также, заключение относительно вида изотермы кристаллизации рубина.

Контрольные вопросы

1. Показать ход лучей в оптической схеме экспериментальной установки.

2. Как влияет ширина раскрытия выходной щели на точность определения концентрации?

3. Вывести формулу для определения концентрации хрома.

4. Объяснить физический смысл закона Бугера Бера.

Литература

1. Ландсберг Г.С. "Оптика", Наука, М., 1976.

2. ОМП, N 7, 1967.

3. НО 5209 - 66 Рубин синтетический. Методы испытаний. Определение концентрации хрома.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ СТЕКОЛ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Содержание работы

1. Изучить оптическую схему, конструкцию и освоить порядок измерения пропускательной способности на спектрофотометрах СФ-46 или СФ-26.

2. Измерить пропускательную способность образцов кварцевого стекла в интервале длин волн: 180-350[нм] на спектрофотометре СФ-46 или СФ-26. По измеренным спектральным зависимостям определить марку кварцевого стекла (рис.35).

3. Измерить пропускательную способность образцов нескольких оптических материалов в области 180-400[нм]. и определить области прозрачности, а также их показатель преломления в этих областях.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Измерить пропускательную способность образцов оптических материалов в интервале 180-350[нм] с шагом 5-10[нм].

2. Измерение пропускательной способности производить согласно методики работы на спектрофотометрах СФ-26 и СФ-46.

3. Результаты измерений пропускательной способности, а также результаты проверки градуировки по длинам волн спектрофотометра СФ-46 занести в таблицу 1 и 2.

Таблица 1

Проверка градуировки по длинам монохроматора спектрофотометра СФ-46

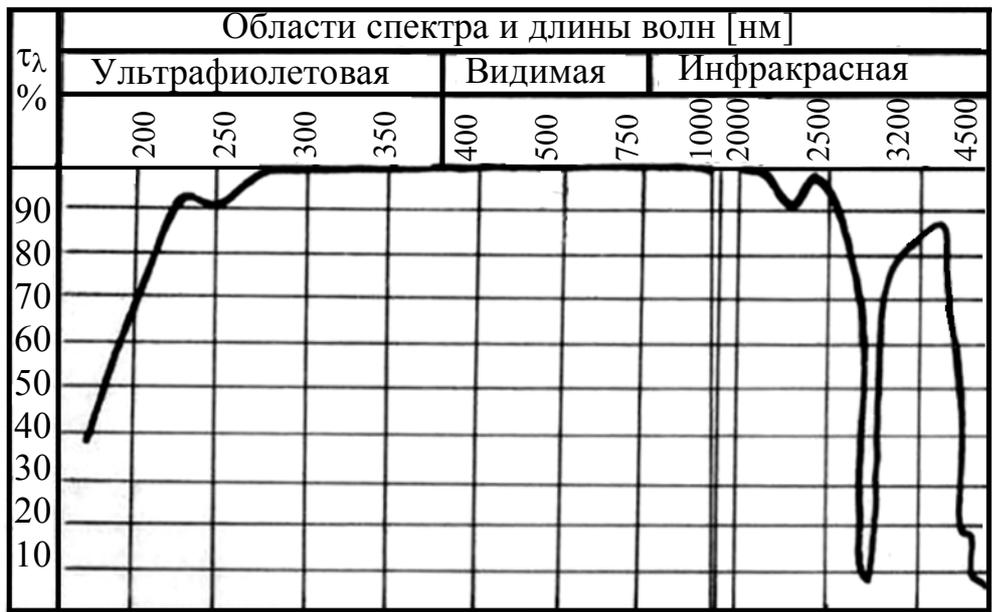
Источник света:

Фотоэлемент:

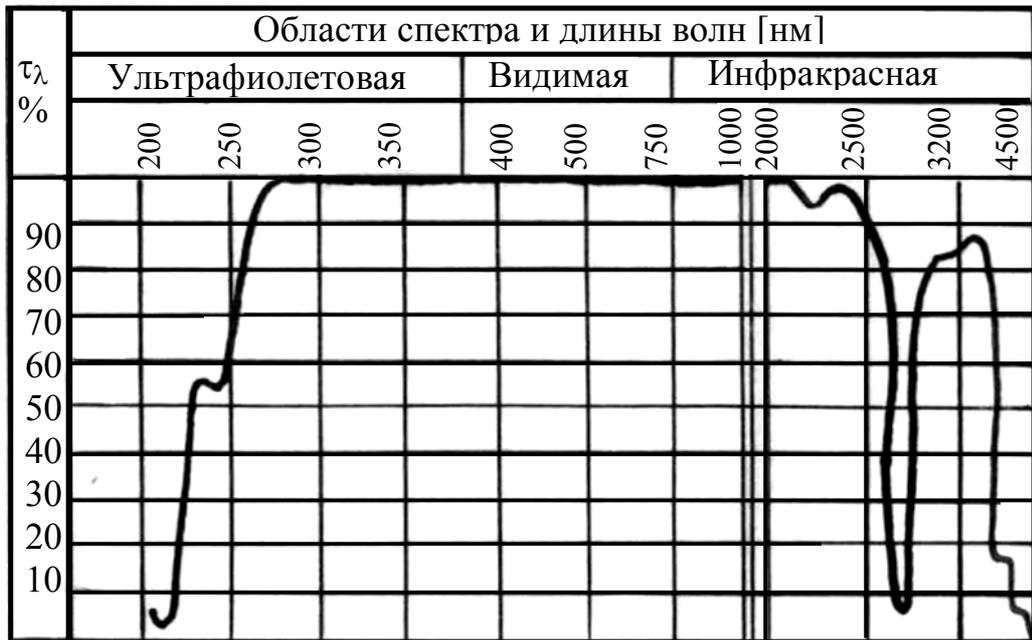
$\lambda_{\text{эт}}$ [нм].	$\lambda_{\text{изм.}}$	$\delta\lambda = \lambda_{\text{эт}} - \lambda_{\text{изм}}$	S[мм], ширина щели	$\Delta\lambda$, [нм]



35.a.



35.б.



35.в.



35.г.



35.д.

Таблица 2

Результаты измерения пропускательной способности

Источник света:

Фотоэлемент:

λ , [нм]	S, [мм]	$\Delta\lambda$	Пропускательная способность, %	
			T ₁	T ₂

4. Одновременно с заполнением таблицы 2 построить график спектральной зависимости пропускательной способности в интервале 180-350[нм] (вар. 1А) и 180-400[нм] (вар. 1Б). При построении графика спектральной зависимости выбрать удобный для работы масштаб.

5. Определить марку кварцевого стекла (вар. 1А) сравнением с пропускательной способностью кварцевого стекла различных марок (см. рис. 35).

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Заполненные табл. 1 и 2 результатов измерений.
2. График спектральной зависимости пропускательной способности в области 180-350[нм] или 180-400[нм].
3. Марки образцов кварцевого стекла (вар. 1А). Границы областей прозрачности оптических материалов, значения их показателей преломления (вар. 1Б).

4. Выводы о проделанной работе.

5. Анализ погрешностей.

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлено смещение границ прозрачности кварцевого стекла различных марок?

2. Объяснить необходимость проверки градуировок спектрофотометров по длинам волн.

3. Объяснить принцип работы спектрофотометра по одно - и двух-лучевой схеме.

4. Каким из выражений -(3), (4), (6) (см. стр. 50, 51) - можно пользоваться при определении показателя поглощения в области прозрачности оптического материала, вблизи линий поглощения?

5. Как влияет спектральная ширина выходной щели монохроматора на точность измерений пропускательной способности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦВЕТНЫХ СТЕКОЛ

Содержание работы

1. Изучить оптическую схему, конструкцию и освоить порядок измерения пропускательной способности на спектрофотометре СФ-26 и отражательной способности на рефлексометре.

2. Измерить пропускательную способность образцов цветных стекол в интервале 460-800[нм] на спектрофотометре СФ-26.

3. Измерить отражательную способность образцов цветных стекол в интервале 460-800[нм] на рефлексометре.

4. Вычислить комплексный показатель преломления цветных стекол для нескольких длин волн. По спектральным зависимостям $T(\lambda)$ и $R(\lambda)$ определить, пользуясь каталогом цветного стекла, марку исследованных образцов.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Измерить пропускательную и отражательную способность образцов цветных стекол в интервале 460-800[нм] с шагом 5-10[нм].

2. Измерения производить на спектрофотометре СФ-26 и рефлексометре согласно пп. 1.1-1.4.7 и 4.1-4.3.2.

3. Результаты измерений пропускательной и отражательной способности, а также результаты проверки градуировки по длинам волн спектрофотометра СФ-26 и градуировку по длинам волн монохроматора МДР-2 занести в таблицы 1-4.

Таблица 1

Проверка градуировки по длинам волн монохроматора спектрофотометра СФ-26

Источник света:

Фотоэлемент:

$\lambda_{\text{эт}}, [\text{нм}]$	$\lambda_{\text{изм}}, [\text{нм}]$	$\delta\lambda = \lambda_{\text{эт}} - \lambda_{\text{изм}}$	$S, [\text{нм}]$	$\Delta\lambda, [\text{нм}]$

Таблица 2

Градуировка по длинам волн монохроматора МДР-2 рефлексометра

Источник света:

Фотоэлемент:

$\lambda_{\text{эт}}, [\text{нм}]$	α , дел. барабана	S, [нм]	$\Delta\lambda$, [нм]

Таблица 3

Результаты измерения пропускательной способности образцов
цветных стекол

Источник света:

Фотоприемник:

λ , [нм]	Пропускательная способность, %				S, [нм]	$\Delta\lambda$, [нм]
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄		

Таблица 4

Результаты измерения отражательной способности образцов

λ [нм]	Номер образца				A _{эт.}	A _{тем.}	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	S, [нм]	$\Delta\lambda$, [нм]
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄								

4. Одновременно с заполнением таблицы 3,4 построить графически спектральную зависимость пропускательной и отражательной способностей образцов цветных стекол в интервале длин волн от 460 до 800[нм].

5. Определить область прозрачности образцов.

6. Вычислить для нескольких длин волн показатель преломления образцов цветных стекол или определить марку образцов, пользуясь каталогами цветного стекла.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Заполнить таблицы 1-4 результатов измерений.
2. Графики спектральных зависимостей пропускательной и отражательной способностей образцов материалов цветных стекол в интервале 460-800[нм].
3. Границы областей прозрачности исследованных материалов.

4. Марки цветных стекол или значения комплексного показателя преломления исследованных материалов для нескольких длин волн.

5. Выводы по работе.

6. Анализ погрешностей.

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип работы рефлексометра.

2. Как влияет спектральная ширина выходной щели монохроматора на точность измерений отражательной способности?

3. Какова точность измерения пропускательной или отражательной способности, чем она определяется?

4. Границы применимости формул (3), (4), (6) (см. стр. 50, 51) для вычисления комплексного показателя преломления.

5. Объяснить необходимость фотоэлектрической регистрации спектра при проведении градуировки монохроматора МДР-2 по длинам волн.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОЗРАЧНЫХ В ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Содержание работы

1. Изучить оптическую схему, конструкцию и освоить порядок измерения пропускательной способности на спектрофотометре ИКС-29.
2. Измерить пропускательную способность образцов оптических материалов в интервале $4200-400[\text{см}^{-1}]$ на спектрофотометре ИКС-29.
3. Определить границы прозрачности образцов и определить из каких материалов они изготовлены.
4. Вычислить показатель преломления для нескольких длин волн в области прозрачности исследованных инфракрасных материалов.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Измерить пропускательную способность образцов оптических материалов в интервале $4200-400[\text{см}^{-1}]$.
2. Измерения проводить на спектрофотометре ИКС-29 согласно пп.2-2.2.9. стр. .
3. Проградуировать по длинам волн спектрофотометр ИКС-29 по спектру стандартной пленки полистирола (см. приложение стр. рис.) и записать спектр пропускательной способности образцов нескольких оптических материалов, прозрачных в инфракрасной области спектра в диапазоне длин волн от 4200 до $400[\text{см}^{-1}]$.
4. После записи и расшифровки спектральной зависимости пропускательной способности образцов оптических материалов определить области прозрачности, границы прозрачности и показатель преломления для нескольких длин волн.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Регистрограммы спектров пропускательной способности образцов оптических материалов. Регистрограмма пропускательной способности полистирола в диапазоне $4200-400[\text{см}^{-1}]$. Бланк, на котором записаны регистрограммы, должен быть проградуирован по длинам волн. На регистрограмме должны быть приведены условия записи спектра: скорость движения ленты, скорость развертки, программа раскрытия щелей, усиление.
2. Границы, области прозрачности оптических материалов, показатель преломления для нескольких длин волн.

3. Выводы по работе.
4. Анализ погрешностей.

Контрольные вопросы

1. Оптическая схема спектрофотометра ИКС-29, назначение основных элементов оптической схемы.
2. Объяснить необходимость градуировки спектрофотометра.
3. Назначение фотометрического клина.
4. Каким образом следует установить перо самописца на нуль и на линию 100% пропускания? Смысл регулировок.
5. Соотношение между волновым числом, выраженным в $[\text{см}^{-1}]$, и длиной волны.

Литература

1. Спектрофотометр СФ-26. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
2. Приставка ПЗО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
3. Спектрофотометр инфракрасный ИКС-29. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
4. Монохроматор МДР-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
5. Топорец А.С. Монохроматоры.- М.:ГИТТЛ, 1955.
6. Борн М., Вольф Э. Основы оптики.- М.:Наука, 1970.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы - определение областей прозрачности оптических материалов в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра. Определение показателя преломления, коэффициента поглощения оптических материалов по спектральным зависимостям отражательной и пропускательной способностей.

Для расчета и изготовления линз, призм, пластин и других деталей оптических приборов необходимы материалы, обладающие заданными характеристиками (спектральная зависимость отражательной, пропускательной, поглощательной способностей) в рабочей области спектра. Эти характеристики определяются спектральной зависимостью комплексного показателя преломления, $\tilde{n}_\lambda = n_\lambda + iK_\lambda$ где n_λ - действительная часть показателя преломления, а K_λ - коэффициент поглощения. Поэтому при конструировании и расчете элементов оптических приборов необходимо знать значение комплексного показателя преломления. При отсутствии поглощения ($K_\lambda=0$) показатель преломления определяют с большой точностью (10^{-6} - 10^{-7}) рефрактометрическими и другими методами.

При наличии поглощения ($K_\lambda \neq 0$) комплексный показатель преломления \tilde{n}_λ с большей точностью можно определить эллипсометрическими методами, при которых необходимо специальное оборудование и, кроме того, для вычисления \tilde{n}_λ обязательно выполнение сложных и громоздких расчетов. В настоящей работе \tilde{n}_λ предлагается определить с помощью фотометрических измерений спектральной зависимости пропускательной T_λ и отражательной R_λ способностей.

Напомним, что свет с интенсивностью J_0 падающий на границу раздела двух сред с показателями преломления n_0 и \tilde{n}_λ (рис.37), отражается от нее (интенсивность отраженного света J_R) и проникает в среду с показателем преломления \tilde{n}_λ (интенсивность прошедшего через границу раздела света J_T).

Отражательную R_λ и пропускательную T_λ способности границы раздела определяют из соотношений:

$$R_\lambda = \frac{J_R}{J_0}, \quad T_\lambda = \frac{J_T}{J_0}.$$

Величины R_λ и T_λ , выраженные через n_0 и \tilde{n}_λ при нормальном падении света на границу раздела, равны:

$$R_\lambda = \frac{(n_0 - n_\lambda)^2 + K_\lambda^2}{(n_0 + n_\lambda)^2 + K_\lambda^2}, \quad T_\lambda = \frac{4n_0n_\lambda}{(n_0 + n_\lambda)^2 + K_\lambda^2}. \quad (32)$$

При прохождении света через оптический материал толщиной d (рис.38) часть света поглотится. Пусть интенсивность света, прошедшего через первую границу раздела, J_T , а интенсивность света, падающего на



Рис.37. Распространение света в плоскопараллельной пластине вторую границу раздела J_A . Тогда в соответствии с законом Бугера:

$$J_A = J_T e^{-\frac{2\pi K_\lambda d}{\lambda}},$$

где λ - длина волны падающего излучения.

Величину $\frac{J_A}{J_T} = \theta$ называют прозрачностью среды.

Если свет падает на плоскопараллельную пластинку (см.рис.37) с показателем преломления \tilde{n}_λ , окруженную средами с показателем преломления n_0 , то ее отражательная R , пропускательная T и поглощательная A способности соответственно равны:

$$\begin{cases} R = R_\lambda \left[\frac{1 + \theta^2 (T_\lambda^2 - R_\lambda^2)}{1 - \theta^2 R_\lambda^2} \right] \\ T = \frac{\theta T_\lambda^2}{1 - \theta^2 R_\lambda^2} \\ A = T_\lambda \frac{1 - \theta}{1 - \theta R_\lambda} \end{cases} \quad (33)$$

Измерив отражательную и пропускательную способности плоскопараллельной пластинки, можно определить комплексный показатель преломления. Однако формулы, полученные для вычисления n_λ и K_λ из формулы (33), громоздки и неудобны. Вычисления значительно упрощаются при выполнении условий:

1. $R+T \approx 1$ (слабо поглощающие среды), тогда $\theta \approx 1$, а $K_\lambda \approx 0$. В этом случае:

$$\begin{cases} K_\lambda = \frac{\lambda}{2\pi d} \ln \frac{1-R}{T}, \\ n_\lambda = \frac{n_0}{1-R} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{n_0^2 + K_\lambda^2}{n_0^2} (1-R)^2} \right]. \end{cases} \quad (34)$$

2. $T \approx 0$ (сильно поглощающие среды). В этом случае:

$$\begin{cases} K_\lambda = \frac{\lambda}{2\pi d} \ln \frac{1}{1-R}, \\ n_\lambda = n_0 \frac{1+R}{1-R} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{n_0^2 + K_\lambda^2}{n_0^2} \left(\frac{1-R}{1+R} \right)^2} \right]. \end{cases} \quad (35)$$

3. Среда с любыми значениями $\tilde{n}_\lambda = n_\lambda + iK_\lambda$. Для определения комплексного показателя преломления необходимо измерить:

-отражательную способность $R_\lambda^{(K)}$ границы раздела сред n_0 и \tilde{n}_λ на клиновидном образце;

-пропускательную способность $T_\lambda^{(n)}$ плоскопараллельного образца.

Величины $R_\lambda^{(K)}$ и $T_\lambda^{(n)}$ связаны с \tilde{n}_λ зависимостями:

$$\begin{cases} R_\lambda^{(K)} = \frac{(n_0 - n_\lambda)^2 + K_\lambda^2}{(n_0 + n_\lambda)^2 + K_\lambda^2}, \\ T_\lambda^{(n)} = \frac{\theta(1 - R_\lambda^{(K)})^2}{1 - \theta^2 (R_\lambda^{(K)})^2} \end{cases} \quad (36)$$

Из системы (35) для вычисления n_λ и K_λ можно получить выражения:

$$\begin{cases} K_\lambda = \frac{\lambda}{2\pi d} \ln \left[\frac{2T_\lambda^{(n)} R_\lambda^{(K)}}{(1 - R_\lambda^{(K)})^2} \frac{1}{1 \pm \frac{(T_\lambda^{(n)})^{1/2} R_\lambda^{(K)}}{(1 - R_\lambda^{(K)})^2}} \right], \\ n_\lambda = n_0 \frac{1 + R_\lambda^{(K)}}{1 - R_\lambda^{(K)}} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{n_0^2 + K_\lambda^2}{n_0^2} \left(\frac{1 - R_\lambda^{(K)}}{1 + R_\lambda^{(K)}} \right)^2} \right] \end{cases}$$

Формулы (32)-(37) верны при отсутствии интерференции между поверхностями плоскопараллельной пластинки, потерь электромагнитного излучения на границах раздела двух сред и рассеяния света в материале.

Для измерения пропускательной способности оптических материалов в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра используют серийные спектрофотометры СФ-26 (185-1200 [нм]) (рис.39) и ИКС-29 (4200-400[см⁻¹], 2,38-25[мкм]) рис.40,а. Отражательную способность измеряют методом сравнения на рефлексомере (рис.41) или спектрофотометре СФ-26 с приставкой ПЗО-2 (рис.42).

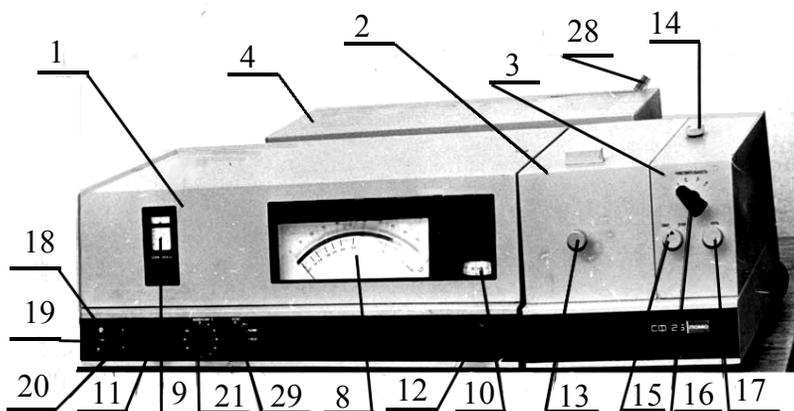


Рис.39. Внешний вид СФ-26

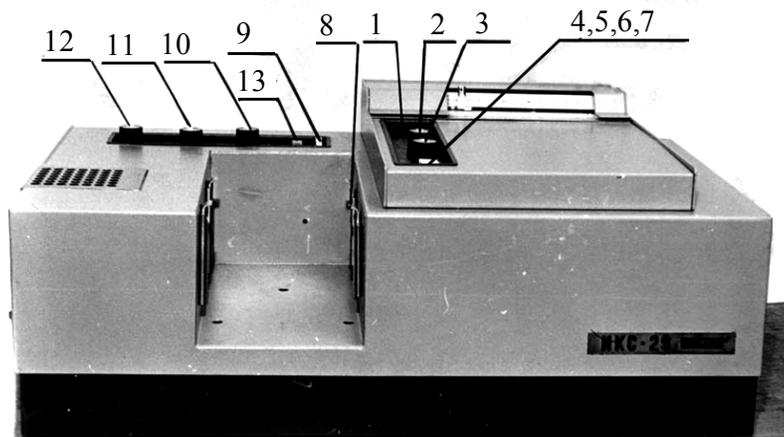


Рис.40.а. Внешний вид ИКС-29

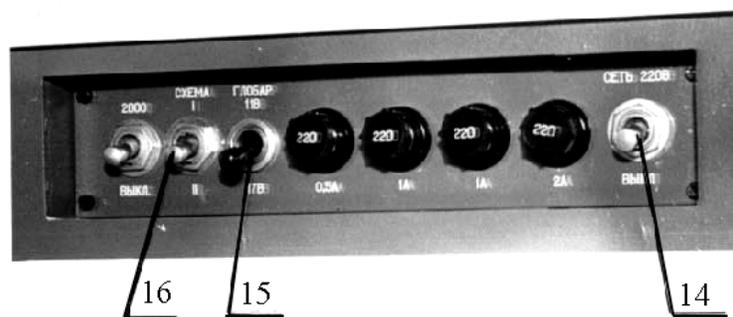


Рис.40.б. Боковая панель ИКС-29

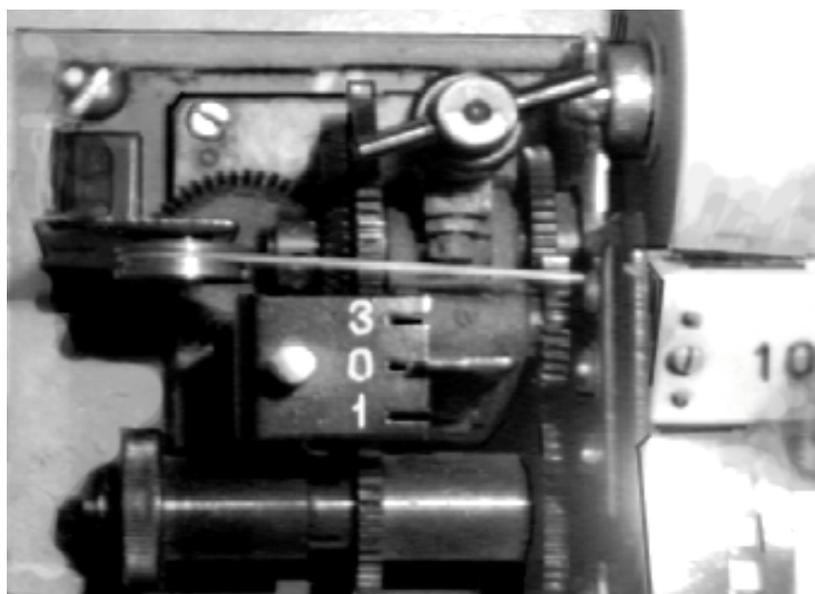


Рис.40.в. Самописец ИКС-29

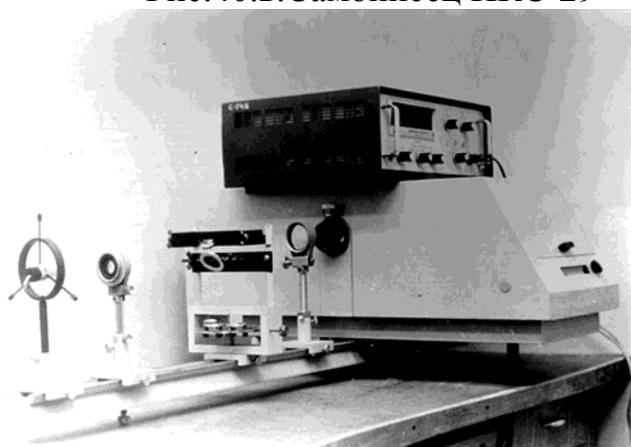


Рис.41. Внешний вид рефлексометра на базе МДР-25

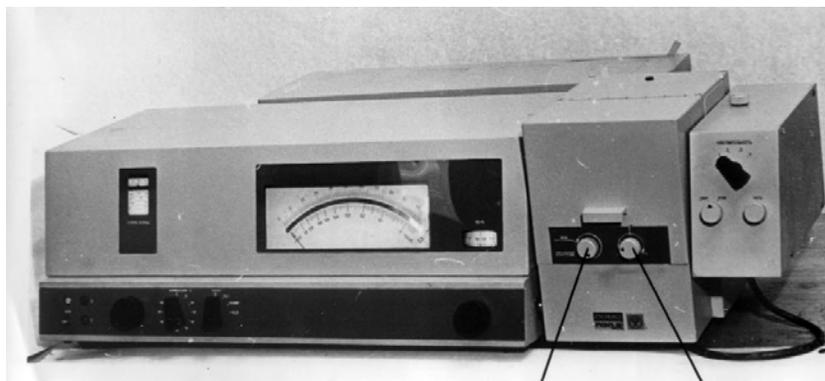


Рис.42. Внешний вид СФ-26 с ПЗО

Описание и конструкция приборов

Спектрофотометр СФ-26. Предназначен для измерения пропускательной способности T и оптической плотности D исследуемых образцов. Измерение производится по методу электрической автокомпенсации.

В монохроматический поток излучения поочередно вводятся контрольный и измеряемый образцы. После ведения контрольного образца регулировкой ширины щели устанавливают на измерительном приборе показание: «100%», и величину установленного при этом светового потока принимают за 100% пропускательной способности. При введении в поток излучения образца показания измерительного прибора изменяются пропорционально величине светового потока прошедшего через образец. Величину пропускательной способности отсчитывают по шкале измерительного прибора, оцифрованной в процентах пропускательной способности или единицах оптической плотности.

Спектрофотометр (см. рис.39) состоит из монохроматора 1, кюветного отделения 2, камеры 3 с фотоприемником и усилителем, осветителя 4 с источниками излучения и стабилизатором.

Оптическая схема спектрофотометра представлена на рис.41. Свет от источника 1 или 1' падает на зеркальный конденсатор 2, который направляет его на плоское поворотное зеркало 3 и дает изображение источника в плоскости линзы 4, расположенной вблизи входной щели 5. Прошедший через входную щель световой поток падает на зеркальный объектив 6, отражается от него и параллельным пучком направляется на призму 7. Пройдя призму под углом, близким к углу наименьшего отклонения, и, отразившись от ее алюминиевой грани, диспергированный пучок направляется обратно на объектив и фокусируется им на выходной щели 8. При вращении призмы монохроматическое излучение различных длин волн проходит через выходную щель 8, линзу 9, контрольный или исследуемый образец, линзу 10 и с помощью поворотного зеркала 11 собирается на светочувствительном слое одного из фотоэлементов 12 или 13.

На передней панели спектрофотометра (см. рис.39) размещены: измерительный прибор 8, шкала которого отградуирована в процентах T и единицах оптической плотности D , шкала 9 механизма поворота призмы, отградуированная в длинах волн [нм], и шкала 10 механизма раскрытия щели.

С помощью рукоятки 11 осуществляют развертку по длинам волн, значения которых устанавливают на шкале 9, отградуированной в пределах 185-1200 [нм]. Раскрытие входной щели 5 (см. рис.43) и выходной щели 8, конструктивно составляющих одно целое, осуществляется рукояткой 12 (см. рис.39) в пределах 0,01-2 [мм].

Кюветное отделение 2 предназначено для установки исследуемых образцов. Карета с образцами перемещается вдоль выходного окна монохроматора с помощью рукоятки 13 и может фиксироваться в четырех положениях: «1», «2», «3» и «4».

Для работы в широком спектральном диапазоне используются два фотоэлемента, установленных в камере 3: сурьмяно-цезиевый (185-650 [нм]) и кислородно-цезиевый (600-1200 [нм]), включаемые в схему поворотом рукоятки 14 (см. рис.37) в положение «Ф» и «К» соответственно.

На передней стенке камеры 3 расположены рукоятка 15 шторки,

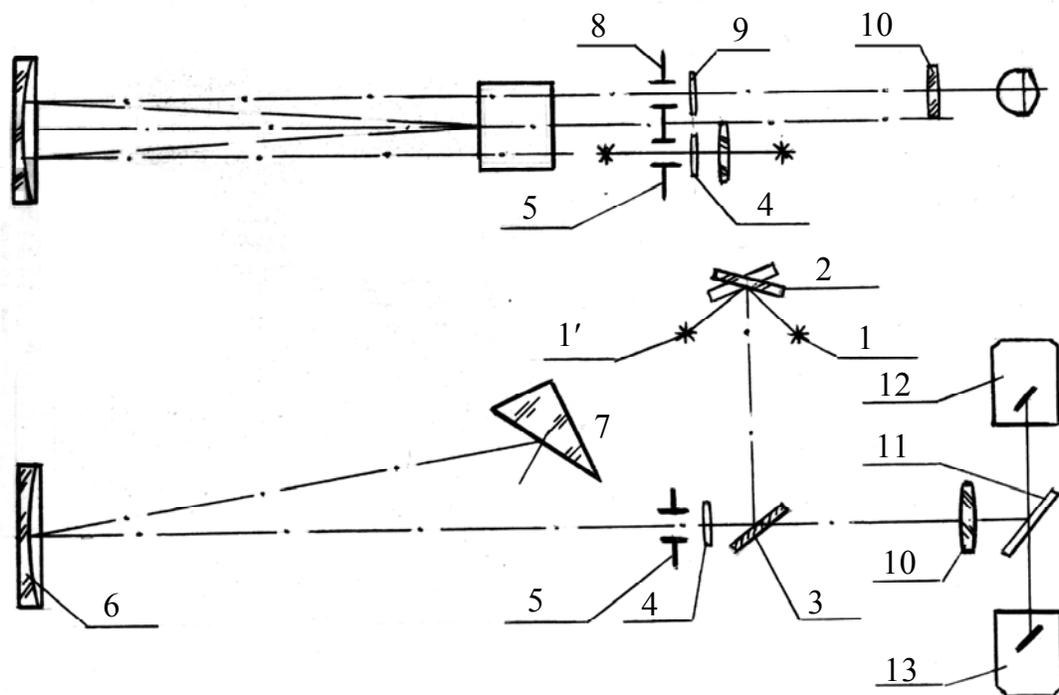


Рис.43. Оптическая схема спектрофотометра СФ-26 открывающей и закрывающей входное окно фотоэлемента, рукоятка 16 установки чувствительности и рукоятка 17 установки нуля.

В блоке 4 два источника излучения сплошного спектра: дейтериевая лампа (185-350[нм]) и лампа накаливания (340-1200[нм]), которые вводятся в оптическую схему рукояткой 28, устанавливаемой соответственно в положение «Д» или «Н».

Внизу на основании спектрофотометра размещены сигнальная лампа 18 «Сеть» и тумблер «Сеть», сигнальные лампы включения дейтериевой лампы 19 («Д») и лампы накаливания 20 («Н»). Здесь же находятся рукоятка 21 переключения резисторов компенсации, с которых для увеличения точности измерений подается калиброванное компенсационное напряжение в цепь измерительного прибора, и рукоятка 22 «Отсчет», предназначенная для выбора масштаба измерений: положение «X1» рукоятки «Отсчет» используется при измерении пропускательной способности в диапазоне от 100 до 0; положение «X0,01» - при измерении пропускательной способности $T < 10\%$ в этом случае 10%-ному пропусканию соответствует вся шкала измерительного прибора, положение «Калибр» - для установки 100%-ного отсчета при работе с сильно поглощающими образцами, когда попадающий на фотоэлемент световой поток мал. Положение «X0,1» используется при измерении образцов с пропускательной способностью меньше 1%, при этом однопроцентному пропусканию соответствует вся шкала измерительного прибора.

Спектрофотометр СФ-26 с приставкой ПЗО-2. Предназначен для измерения квадрата абсолютного и относительного коэффициентов зеркального отражения плоских поверхностей при угле падения света на образец, близком к нормальному. Приставку ПЗО-2 устанавливают на спектрофотометре вместо кюветного отделения. С ее помощью измеряют отношение величины монохроматического излучения, дважды отраженного от испытуемого образца, к величине потока, падающего на образец (квадрат абсолютного коэффициента отражения), или к величине потока, дважды отраженного от образца сравнения (квадрат относительного коэффициента отражения).

Отношение измеряют методом электрической автоколлимации, а его значение считывают со шкалы пропускания измерительного прибора спектрофотометра.

Оптическая схема приставки ПЗО-2 (схема *V-W* рефлексометра Д.Стронга) представлена на рис.44.

Монохроматический поток излучения, выходящий из щели 1 монохроматора, плоским зеркалом 2 направляется на сферическое зеркало 3, затем проходит через щель 4 и на цилиндрическую линзу 5 и попадает на сферическое зеркало 6, находящееся в положении I (вариант схемы *V*), которое направляет излучение на сферическое зеркало 7. После зеркала 7 поток

излучения, отразившись от плоского зеркала 9, попадает на катод фотоэлемента 10, перед которым установлена кварцевая пластина 11. В плоскостях диафрагм 4, 8, предназначенных для устранения рассеянного света, образуется изображение щели 1 с увеличением примерно 1^x .

При введении в поток излучения испытуемого образца 12 зеркало 6 устанавливают в положение II (вариант схемы *W*), и поток излучения дважды отражается от образца. Его минимальные размеры 17x20 [мм].

Для получения более точных результатов измерения перед пластиной 11 может быть помещен рассеиватель 13, выполненный из матированного кварцевого стекла или молочного стекла марки МС13 (в зависимости от используемой спектральной области)

Конструктивно приставка ПЗО-3 представляет собой узел, устанавливаемый на спектрофотометр СФ-26 взамен кюветной камеры (рис.45). В приставке имеются два подвижных элемента (зеркало 6 и вертикальный столик 24 с окнами 25, в которых с помощью пружинных прижимов укрепляют два испытуемых образца или два испытуемых и один образец сравнения). Перемещение зеркала 6 осуществляется с помощью рукоятки 23. Обозначения «100%» и «Измерение» у рукоятки 23 соответствуют

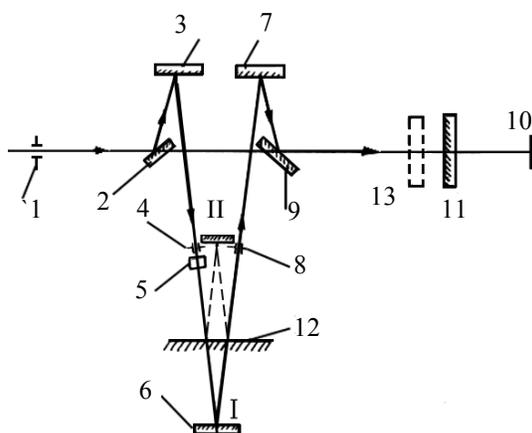


Рис.44. Оптическая схема ПЗО-2 положениям I и II зеркала 6.

Перемещение столика с образцами осуществляется рукояткой 27. Цифры «1», «2», «3» у рукоятки соответствуют трем фиксированным положениям столика, при которых в пучок вводятся испытуемые образцы или образец сравнения.

Рассеивающие пластины устанавливают с внутренней стороны корпуса в выходное окно приставки и закрепляют винтами.

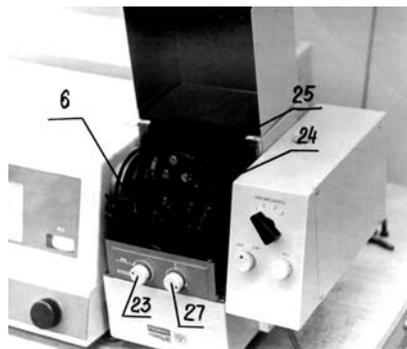


Рис.45. Общий вид ПЗО-2

Спектрофотометр СФ-46. В основе работы спектрофотометра лежит принцип сравнения двух световых потоков: потока, прошедшего через исследуемый образец и потока, падающего на него (или прошедшего через эталонный образец). Общий вид представлен на рис 46.

Излучение от источника 1 (рис.47) или 1' падает на зеркальный конденсор 2, который направляет его на плоское поворотное зеркало 3 и дает изображение источника излучения в плоскости линзы 4, расположенной вблизи входной щели 5 монохроматора. Прошедшее через входную щель излучение падает на вогнутую дифракционную решетку 6 с переменным шагом и криволинейным штрихом. Решетка изготавливается на сферической поверхности, что придает ей помимо диспергирующих, также и фокусирующие свойства. Применение переменного шага и криволинейного штриха значительно уменьшает абберационные искажения вогнутой дифракционной решетки и позволяет получить высокое качество спектра во всем рабочем спектральном диапазоне 190 – 1100[нм.].

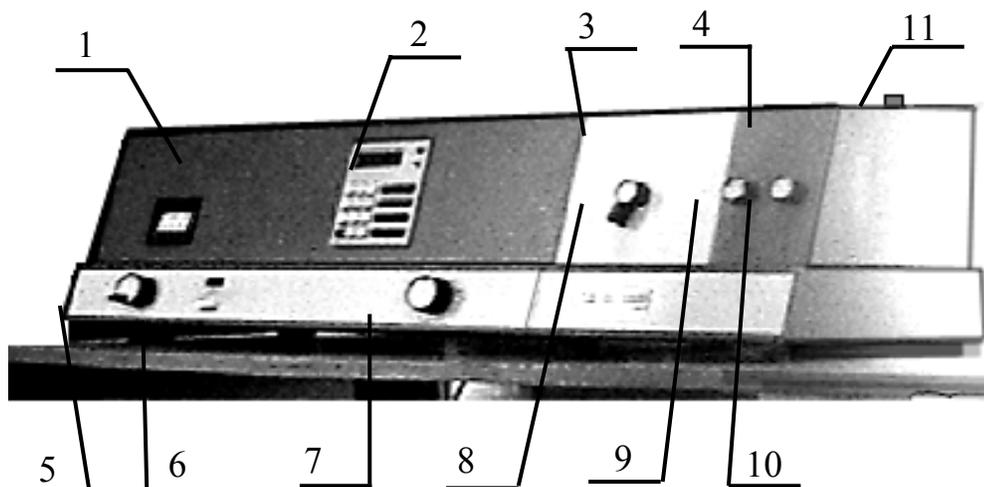


Рис. 46. Внешний вид СФ-46

Диафрагмированный пучок фокусируется в плоскости выходной щели 7 монохроматора, расположенной над входной щелью 5.

Сканирование осуществляется поворотом дифракционной решетки; при этом монохроматическое излучение различных длин волн проходит через выходную щель 7, линзу 8, эталонный или измеряемый образец, линзу 9 и с помощью поворотного зеркала 10 попадает на светочувствительный слой фотоэлемента 11 или 12.

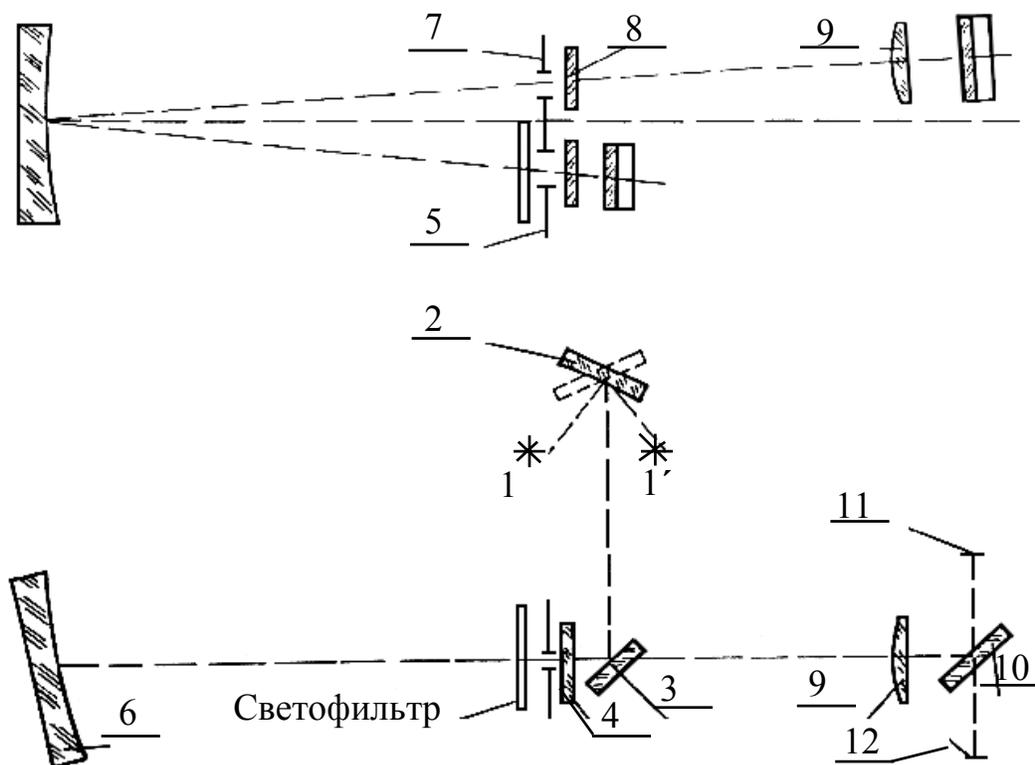


Рис. 47. Оптическая схема СФ-46

Электрический ток, возникающий в фотоэлементе, проходя через резистор анодной нагрузки, создает на нем падение напряжения, пропорциональное потоку излучения, падающему на фотокатод.

Усилитель постоянного тока на микросхеме К140УД8 с коэффициентом усиления, близким к единице, передает сигнал на вход микропроцессорной системы, которая по команде оператора поочередно измеряет и запоминает напряжения, пропорциональные темновому току фотоэлемента (U_T , команда Ш(0)), потоку, прошедшему через эталонный образец (U_0 , команды К(1) и $\tau(2)$) и потоку, прошедшему через исследуемый образец (U , команда $\tau(2)$), после чего рассчитывает коэффициент пропускания T исследуемого образца по формуле:

$$T = \frac{U - U_T}{U_0 - U_T} \times 100\%.$$

Значение измеренной величины пропускания T в процентах высвечивается на цифровом табло.

Для обеспечения работы спектрофотометра в широком спектральном диапазоне используются два источника излучения сплошного спектра и два фотоэлемента. Дейтериевая лампа предназначена для работы в области спектра от 190 до 350[нм.]; лампа накаливания - для работы в области спектра от 340 до 1100[нм.].

Сурьмяно-цезиевый фотоэлемент с окном из кварцевого стекла применяется для измерений в области спектра от 190 до 650[нм.], кислородно-цезиевый фотоэлемент - для измерений в области спектра от 600 до 1100[нм.].

Конструктивно спектрофотометр (рис.46) состоит из монохроматора 1, микропроцессорной системы 2, кюветного отделения 3, камеры 4 с фотоприемниками и усилителем и блока с источниками излучения и стабилизатором.

На лицевой стороне монохроматора расположены:

- рукоятка 5 механизма поворота дифракционной решетки (сканирования по длинам волн) со шкалой, градуированной в нанометрах;
- кнопка 6 включения сети со световым индикатором;
- панель 2 микропроцессорной системы;
- рукоятка 7 установки ширины щели монохроматора;
- рукоятка 8 перемещения каретки с держателем образцов;
- ручки 9 открывания окна камеры фотоэлементов;
- рукоятки 10 механизма установки нуля.

Сверху расположены:

- на блоке осветителей – расположена ручка переключения источников света - дейтериевой лампы (положение ручки «Д») и лампы накаливания (положение «Н»);

- на блоке фотоприемников - рукоятка 11 переключения фотоэлементов: сурьмяно-цезиевого (положение рукоятки «Ф») и кислородно-цезиевого (положение «Д»).

Спектрофотометр ИКС-29. Предназначен для измерения пропускательной способности различных веществ в диапазоне от 4200 до 400 [см.]⁻¹ (2,38-25[мкм.]). Регистрация спектра производится автоматически на специальном бланке.

Оптическая схема спектрофотометра представлена на рис.46,а и б.

Излучение от источника света (глобар) 1 разделяется сферическими зеркалами 2, 3, 4, 5 на пучки I и II. Этими зеркалами изображение источника проецируется в плоскость, в которой установлены компенсирующий 6 и фотометрический 7 клинья. Свет, отраженный зеркалами 8, 9, 10 и зеркальной

поверхностью прерывателя 11, направляется на торическое зеркало 12. Прерываемые попеременно пучки света направляются зеркалами 12, 13 на входную щель 14 и фокусируются в плоскости этой щели. Пройдя входную щель, свет плоским зеркалом 15 направляется на параболический объектив 16, в фокальной плоскости которого установлена входная и выходная щели. Отраженный от объектива параллельный пучок лучей падает на плоское зеркало 17, которое направляет его на одну из двух дифракционных решеток 18.

Диафрагмированный пучок снова падает на плоские зеркала 17, объектив 16, проецирующий изображение входной щели с помощью зеркала 19 в плоскость выходной щели 20. Пройдя выходную щель, излучение плоским зеркалом 21 направляется на эллиптическое зеркало 22, которое проецирует изображение выходной щели на приемной площадке болометра 23. В спектрофотометре использованы две дифракционные решетки (реплики) с различными постоянными и максимальными концентрациями энергии. Срезание накладывающихся внешних порядков спектра на первый рабочий порядок производится интерференционными фильтрами 24, установленными за входной щелью и работающими в режиме пропускания. Для уменьшения рассеянного света зеркало 13 сделано сложным и состоит из алюминиевого, матированного зеркала и пластины из фтористого лития LiF.

Смена решеток, отражающих и интерференционных фильтров осуществляется автоматически.

В спектрофотометре имеется устройство, проецирующее изображение шкалы волновых чисел на экран. Оно состоит из лампы 25, поворотного зеркала 26, оптической шкалы 27, объективов 28 и 29 с зеленым светофильтром, зеркал 30, 31 и 32.

Внешний вид спектрофотометра показан на рис.40.а. На пульте управления прибором размещены экран 1 шкалы волновых чисел и переключатель 2 «Диапазоны», с помощью которого устанавливается один из режимов автоматической записи. Возможны три варианта регистрации: запись спектра в диапазоне $4200-1200[\text{см}]^{-1}$, запись в диапазоне $1400-400[\text{см}]^{-1}$ или же последовательная запись в этих диапазонах скорость сканирования устанавливается переключателем 3.

Пуск, сканирование и остановка записи при любом волновом числе осуществляется кнопками 4 и 5. Быстрое прохождение нерегистрируемых участков спектра осуществляется нажатием кнопочного переключателя 6 «Ускоренно». В спектрофотометре имеется возможность обратного сканирования по спектру путем включения переключателя 7 «Обратно». Для установки образцов и приставок в кюветном отделении имеются

направляющие 8. За кюветным отделением находится пульт управления усилителя и системы раскрытия щелей. На пульте расположены индикатор 9 и ручка 10, реохорда баланса моста, ручка 11 «Усиление», переключатель 12 программы щелей и кнопки 13 переключения постоянной времени усилителя.

В нише на левой стороне кожуха (см. рис.40.б) установлены тумблер 14 включения спектрофотометра, переключатель 15 напряжения питания

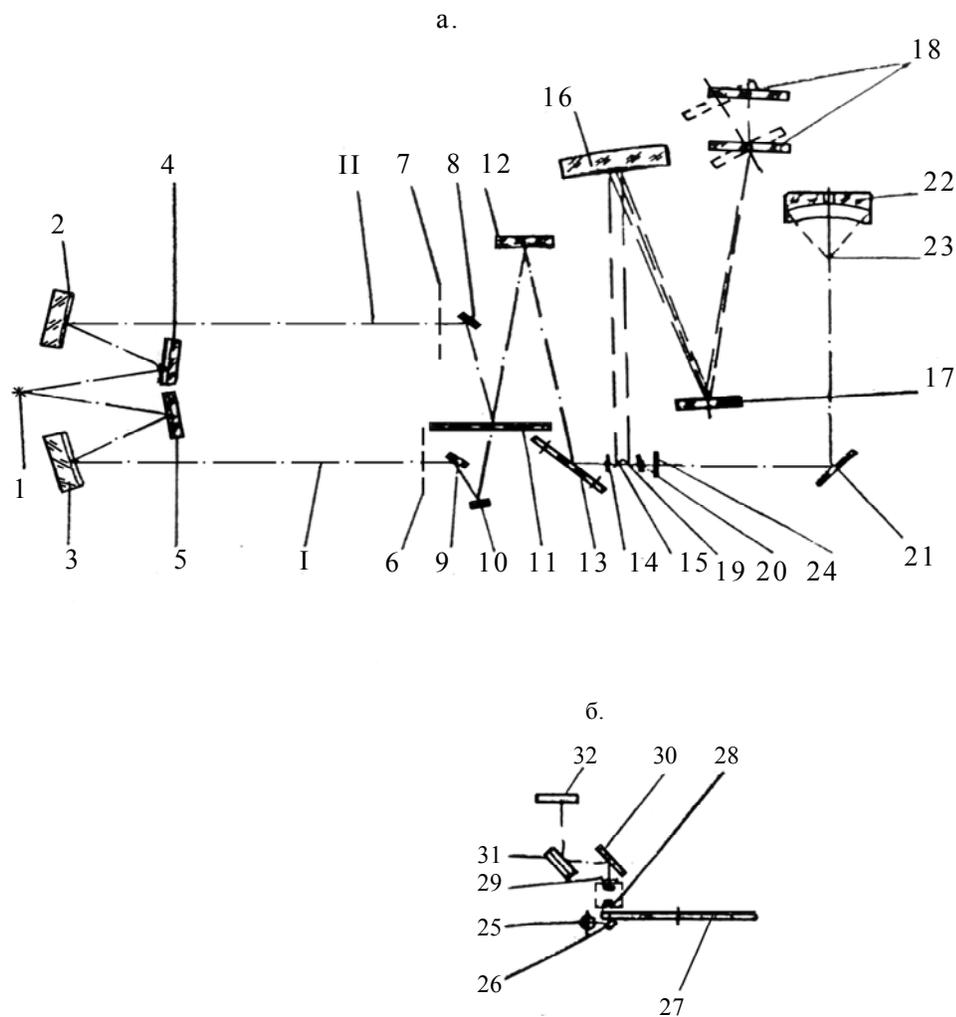


Рис.48. Оптическая схема ИКС-29

источника излучения (глобара), переключатель 16 режима работы. Записывающее устройство закрыто откидывающейся крышкой рис.39.в. Слева от барабана самописца расположены рукоятка 17 переключения скорости развертки спектра и рукоятка 18 переключения скорости протяжки бумаги. Рукоятка 17 служит для отключения развертки или уменьшения ее скорости в шесть раз. Рукоятка 18 служит для отключения протяжки бумаги или увеличения скорости протяжки в три раза.

Принцип действия прибора при работе по двухлучевой схеме (тумблер 16 в положении II) основан на нулевом методе. Излучение от источника (глобара) разделяется на два эквивалентных пучка, в один из которых помещается исследуемый образец, в другой - фотометрический клин (находится внутри прибора). Оба пучка направляются на обтюратор, который попеременно пропускает их в монохроматор. При отсутствии поглощения в обоих пучках на приемник излучения падают потоки одинаковой интенсивности, при этом сигнала на входе усилительной системы нет.

При наличии поглощения в одном из пучков на приемник излучения попадают потоки различной интенсивности, в результате чего на входе усилителя появляется сигнал рассогласования. Этот сигнал после усиления и преобразования подается на электродвигатель обработки, который перемещает фотометрический клин, уменьшая до нуля возникшую разность интенсивностей пучков. Фотометрический клин механически связан с пером, которое, перемещаясь, регистрирует на бланке величину пропускания.

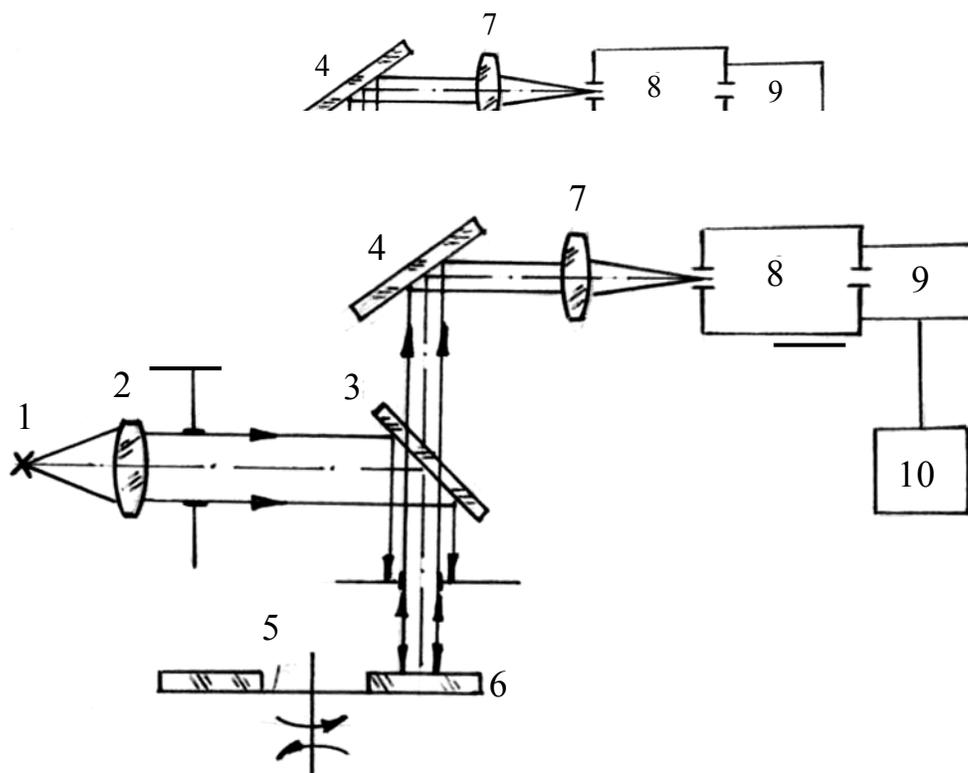


Рис. 49. Оптическая схема рефлексометра

Рефлексометр предназначен для измерения относительной отражательной способности образцов оптических материалов.

Рефлексометр (рис.49) состоит из сменного источника света (лампы накаливания, водородной лампы) 1, коллимирующей линзы 2, свето-делителя 3, зеркала 4, держателя 5, исследуемых образцов 6, фокуси-рующей линзы 7, монохроматора (МДР) 8, сменных фотоумножителей 9 и системы регистрации 10.

Оптическая схема МДР-3 показана на рис.50. Свет от источника 1 через конденсор 2 попадает на входную щель 3. Поворотное зеркало 4 и зеркальный параболический объектив 5, в фокальной плоскости которого расположена входная щель, направляют параллельный пучок на дифрак-ционную решетку 6, после которой он направляется зеркальным параболическим объективом 7 и поворотным зеркалом 8 на выходную щель 9.

Рабочий диапазон спектра обеспечивается тремя дифракционными решетками (репликами) с числом штрихов 1200, 600 и 300 на 1[мм], работающими соответственно в трех областях спектра: от 200 до 600, от 400 до 1200, от 800 до 2500[нм]. Каждая решетка на оправе имеет гравировку, указывающую число штрихов на 1[мм].

Прибор предназначен для работы со спектром 1-го порядка. Спектры высших порядков срезаются светофильтрами 10, которые устанавливаются перед входной щелью монохроматора.

Оси входной и выходной щелей монохроматора расположены на одной прямой. Щели монохроматора симметричные, с переменной шириной раскрытия в пределах от 0 до 4[мм]. Отсчет ширины раскрытия входной и выходной щелей осуществляется по шкалам на барабанах над ними. Цена деления шкал 0,01[мм].

Сменные дифракционные решетки в оправе помещаются на кронштейн. При этом шаровые опоры оправы устанавливаются в лунки кронштейна, а упор оправы прижимается к плоской площадке кронштейна. В нерабочем состоянии дифракционные решетки закрываются защитными крышками. Установка дифракционных решеток в монохроматор осуществляется через окно в корпусе монохроматра, закрываемое крышкой. Определение длины волны, выделяемой монохроматором, производится по шкале 3.

Методические указания и порядок измерения спектральных зависимостей пропускательной и отражательной способностей оптических материалов

Измерение спектральных зависимостей пропускательной и отражательной способностей оптических материалов, как уже было сказано,

производится на спектральном оборудовании и сводится к измерению отношения отраженного или пропущенного через образец потока излучения

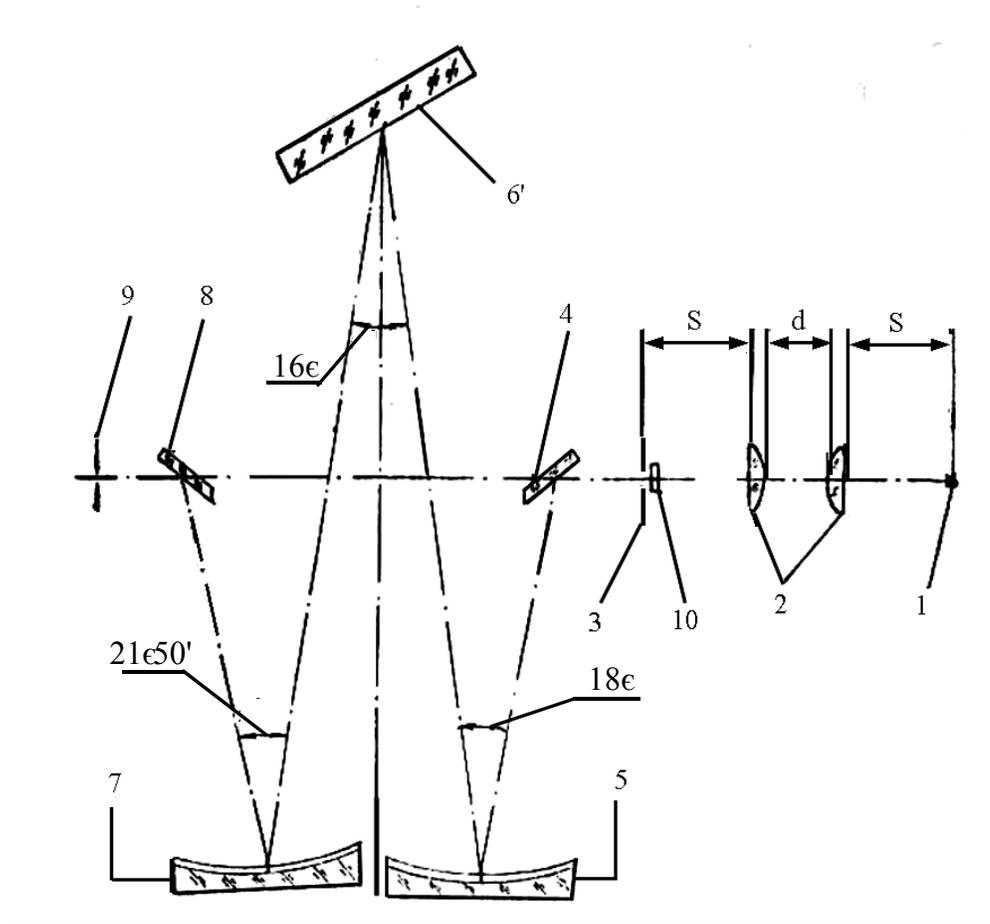


Рис 50. Оптическая схема МДР-3

данной длины волны к падающему. Точность измерения спектральных зависимостей определяется, следовательно, точностью измерения отношения и точностью установки длины волны и величины спектрального диапазона, выделяемого монохроматором спектрофотометра или рефлексометра. Поэтому перед измерением спектральных зависимостей необходимо проверить градуировку шкалы длин волн, а при измерении контролировать величину спектрального диапазона $\Delta\lambda$, выделяемого монохроматором ($\Delta\lambda = DS$ где D - обратная линейная дисперсия, измеряемая в [нм/мм], а S - рабочая ширина выходной щели монохроматора, [мм]). Величина $\Delta\lambda$ должна быть по крайней мере на порядок меньше полуширины исследуемого максимума пропускания или отражения оптического материала.

1. ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ ПРОПУСКАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА СПЕКТРОФОТОМЕТРЕ СФ-26

Подготовка к работе и проведение измерений

Перед проведением измерений необходимо провести обязательную проверку градуировки шкалы длин волн. Она производится по спектру ртутно-гелиевой лампы ДРГС-12 визуальным и фотометрическим способами.

1.1. Визуальная проверка:

1.1.1. Промыть спиртом лампу ДРГС-12 и установить ее в держатель

1.1.2. Установить в рабочее положение фотоэлемент и источник излучения (лампу ДРГС-1) - рукоятка 28 в положении «Д» (рис.39).

1.1.3. Закрывать фотоэлемент, поставив рукоятку 25 в положение «Закр.».

1.1.4. Включить тумблер «Сеть». При этом должны загореться сигнальные лампы «Сеть» и «Д».

1.1.5. Установить на шкале длин волн значение $\lambda = 546 \pm 5$ [нм].

1.1.6. Раскрыть щель на 2 [мм].

1.1.7. Поднять крышку кюветного отделения и поместить лист плотной белой бумаги, на котором начерчен прямоугольник 14x14 [мм], перед окном камеры с фотоэлементами; на листе должно наблюдаться освещенное прямоугольное пятно (изображение призмы) размером 19x14 [мм] с резкими краями слева и справа. При неравномерной освещенности светового пятна или искажении его формы произвести регулировку лампы в держателе с помощью винтов, позволяющих перемещать ее в двух взаимно перпендикулярных направлениях. (При регулировке обязательно присутствие лаборанта или преподавателя).

1.1.8. Установить ширину щели 0,02-0,03 [мм].

1.1.9. Снять камеру с фотоэлементами, отпустив предварительно винт.

1.1.10. Вывести на входную щель желто-зеленую линию спектра ртути 546,1 [нм] (наблюдение вести через окно кюветной камеры), в момент заполнения щели линией снять отсчет по шкале длин волн и сравнить его с табличным значением. (Если отсчет отличается от табличного значения более чем на 0,5 [нм], то градуировку необходимо исправить).

1.2. Фотометрическая проверка:

1.2.1. Установить камеру с фотоэлементами на место.

1.2.2. Установить фотоэлемент, соответствующий проверяемой области спектра, в рабочее положение поворотом рукоятки 14 (см. рис.39) и рукояткой потенциометра 17 «Нуль» скомпенсировать темновой ток фото-

элемента. При этом стрелка измерительного прибора должна быть установлена на нуле.

1.2.3. Установить рукоятку 22 в положение «Х1».

1.2.4. Установить рукоятку 15 шторки в положение «Откр.».

1.2.5. Вывести на выходную щель спектральную линию, медленно вращая призму за рукоятку 11, при этом стрелка измерительного прибора отклонится вправо. Уменьшая ширину щели, держать стрелку в пределах шкалы, в момент максимального отклонения стрелки прекратить вращение рукоятки 11 и снять отсчет по шкале длин волн. Максимальное отклонение стрелки, соответствующее моменту прохождения линии через щель, определить по началу движения стрелки измерительного прибора влево. Если максимальное отклонение составляет 1-2 деления, то следует увеличить чувствительность, установив рукоятку 16 в положение «2», «3», «4». Вращение рукоятки привода механизма сканирования производить в сторону увеличения длин волн. Линия 546,1[нм] должна быть воспроизведена с погрешностью $\pm 0,5$ [нм]. Для остальных погрешность воспроизведения не должна превышать следующих значений:

$\pm 0,1$ [нм] для линий 222,47; 248,27; 253,65; 280,35 [нм];

$\pm 0,2$ [нм] для линий 302,15 [нм];

$\pm 0,3$ [нм] для линий 365,0 [нм];

$\pm 0,5$ [нм] для линий 404,7; 435,8 [нм];

± 1 [нм] для линий 587,6 [нм];

$\pm 5,0$ [нм] для линий 1014; 1083 [нм].

Смену фотоприемников произвести при $\lambda=630$ [нм]. (Рукоятка 14 в положении «Ф» при $\lambda \leq 630$ [нм] и в положении «К» при $\lambda \geq 630$ [нм]).

1.3. Измерение пропускательной способности.

При проведении измерений в ультрафиолетовой области спектра заменить лампу ДРГС-12 дейтериевой лампой ДДС-30. Провести установку и регулировку лампы ДДС-30 согласно пп.1.1.7.

1.3.1. В соответствии с выбранным спектральным диапазоном измерений поворотом рукоятки 24 установить фотоэлемент в рабочее положение. Смена фотоприемников производится при $\lambda=630$ [нм].

1.3.2. Ввести в оптическую схему прибора соответствующий выбранному спектральному диапазону источник излучения, установив рукоятку 28 в положение «Д» (дейтериевая лампа) или «Н» (лампа накаливания). Смена источников излучения производится при $\lambda=(340-350)$ [нм].

1.3.3. Закрыть фотоэлемент, поставив рукоятку 15 (см. рис.39) в положение «Закр.», и рукояткой 12 установить ширину щели примерно 0,015 [мм].

1.3.4. Поместить исследуемый образец в держатель и установить последний в кюветное отделение 2, стороной с белой точкой к оператору,

предельно близко к выходному окну монохроматора. Плотно закрыть крышку кюветного отделения и рукояткой 13 выставить напротив выходного окна монохроматора свободное окно держателя образцов или контрольный образец.

1.3.5. Установить требуемую длину волны, вращая рукоятку 11 в сторону увеличения длин волн.

1.3.6. Установить рукоятку 29 в положение «X1».

1.3.7. Поставить рукоятку 16 «Чувствительность» в положение «I»

1.3.8. Рукояткой потенциометра 17 «Нуль» скомпенсировать темновой ток фотоэлемента, для чего установить стрелку измерительного прибора на нуль.

1.3.9. Открыть фотоэлемент, поставив рукоятку 15 шторки в положение «Откр.».

1.3.10. Установить фототок, соответствующий пропусканию контрольного образца (или свободного промежутка), условно равный 100%. Для этого, вращая рукоятку 12 механизма измерения ширины щели, установить стрелку измерительного прибора на деление 100%. Если ширина щели $\geq 0,1$ [мм], то следует увеличить чувствительность, поставив переключатель «Чувствительность» в положение «2», «3», «4», и повторить пп. 1.3.8-1.3.9.

1.3.11. Для определения пропускания исследуемого образца рукояткой 23 установить его в рабочее положение и снять отсчет по шкале пропускания T . Если $T \leq 10\%$, то измерения производить по пп. 1.4.1-1.4.7.

1.3.12. Выставить в рабочее положение свободное окно держателя образцов. При этом стрелка измерительного прибора должна вернуться к делению «100%».

1.3.13. Закрыть шторку фотоэлемента и проверить темновой ток. Он должен быть скомпенсирован.

1.4. Измерения с повышенной чувствительностью.

1.4.1. Рукояткой 13 (см. рис.39) установить в рабочее положение исследуемый образец и получить отсчет по шкале пропускания T .

1.4.2. Скомпенсировать часть отсчета, переключая рукоятку 21 до тех пор, пока показание по шкале не будет меньше 10%.

1.4.3. Установить рукоятку 29 в положение «X0,1» и снять отсчет.

1.4.4. Для получения величины коэффициента пропускания T полученное значение умножить на 0,1 и прибавить число процентов, соответствующее положению рукоятки компенсатора.

Например, снятый отсчет по шкале измерительного прибора «82,6», положение рукоятки компенсатора «40».

Тогда $T = 82,6 \times 0,1 + 40 = 8,26 + 40 = 48,3(\%)$. Измерение в диапазоне показаний 0-10%.

1.4.5. Установить в рабочее положение свободное окно держателя образцов. Поставить рукоятку 29 положение «Калибр» и получить показание 100% по шкале измерительного прибора, меняя ширину щели.

1.4.6. Ввести исследуемый образец и с помощью рукоятки 21 добиться, чтобы отсчет стал меньше 1%.

1.4.7. Для определения величины пропускательной способности T умножить отсчет на 0,01% и прибавить число процентов, соответствующее положению компенсатора, умноженное на 0,1.

Например, отсчет по шкале измерительного прибора - «34,9», положение рукоятки компенсатора - «20».

Тогда $T=34,9 \times 0,01 + 20 \times 0,1 = 0,349 + 2 \approx 2,35\%$.

2. ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ ПРОПУСКАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА СПЕКТРОФОТОМЕТРЕ ИКС-29

2.1. Подготовка спектрофотометра к работе.

Перед включением спектрофотометра необходимо проверить начальные установки тумблеров и ручек регулировки. Так, переключатель режима работы 15 (рис.40.б) должен находиться в положении II, переключатель напряжения глобара 15 - в нейтральном положении.

Переключатель программы щелей 12 (рис.40.а) поставить в положение «5», ручку 11 - в положение 0; кнопки 13 - в положение 0,1. Переключателем 3 установить скорость сканирования. Все кнопки на пульте управления (4-7) должны находиться в верхнем положении. Переключатель 2 «Диапазоны» устанавливается в соответствии с указаниями преподавателя. Переключатель 18 поставить в положение «0», перо должно быть поднято над бланком.

Подготовку спектрофотометра к работе необходимо производить следующим образом:

2.1.1. Включить спектрофотометр тумблером 14 «Сеть».

2.1.2. Тумблером 15 подать на глобар напряжение 17 [В].

2.1.3. Через 10-15 [мин] после включения прибора ручкой 10 «Баланс моста» установить стрелку индикатора 13 примерно на его середину.

2.1.4. Оперирова кнопками 4-7, установить шкалу прибора на начало диапазона, выбранного для измерений.

2.1.5. Повернуть ручку 11 «Усиление» на 1,5-2 деления.

2.1.6. Открыть шторки пучка сравнения (дальний от оператора) рис.40.а. При этом перо самописца должно установиться на нуль. Если этого не произошло, необходимо добиться установки пера на нуль, аккуратно действуя ручкой 10 «Баланс моста».

2.1.7.Открыть шторки пучка образца (ближний к оператору). При этом перо самописца должно перемещаться к линии 100%-ного пропускания.

2.1.8.Установить перо на линию 100%-ного пропускания - отверткой через отверстие (на рис.40.а) не показано) - над входным окном пучка образца. Подобрать усиление, при котором перо, выведенное из положения равновесия на 30-40 делений кратковременным перекрытием пучка образца, возвращалось бы в исходное положение менее чем за секунду и проходило бы это положение не более одного раза.

2.1.9.Попеременно перекрывая пучки, убедиться, что перо быстро устанавливается на «0» или «100»%. Если этого не происходит, то необходимо повторить регулировку моста и усиления.

2.1.10.После настройки спектрофотометра необходимо:

а) опустить перо самописца;
б) совместить перо с началом бланка и убедиться в отсутствии перекоса бланка;

в) установить рукоятку 18 в положение 1 рис.40.в.

2.2.Порядок измерения T .

2.2.1.Ознакомиться с расположением ручек регулировки и тумблеров спектрофотометра. Проверить начальные установки.

2.2.2.Подготовить прибор к работе в соответствии с правилами, изложенными в разд. 2.

2.2.3.Дать спектрофотометру прогреться в течение 30-40 [мин.], после чего еще раз проверить его готовность к работе.

2.2.4.Проверить градуировку шкалы волновых чисел спектрофотометра. Для чего вставить в пучок образца стандартную пленку полистирола и записать ее пропускание в области спектра, указанной преподавателем. Спектральная характеристика представлена в приложении 1, 2.

2.2.5.Вторично совместить начало бланка с началом выбранного диапазона. Вставить в измерительный пучок образец из исследуемого ИК-материала. произвести запись спектра пропускания на том же бланке.

2.2.6.Пользуясь известными значениями волновых чисел, соответствующих полосам поглощения полистирола (приложение 1, 2) градуировать бланк в целых единицах длин волн [мкм].

2.2.7.Выключить прибор.

2.2.8.По регистрограмме пропускания исследуемого образца определить:

а) величину максимальной пропускательной способности $T(\lambda)_{\max}$ и длину волны, на которой этот максимум наблюдается;

б) границу области пропускания;

в) наличие (и положение) или отсутствие полос поглощения.

2.2.9. Пользуясь градуировкой, определить диапазон пропускания образца на уровне $\frac{T(\lambda)_{\max}}{2}$, $(\lambda_1 \div \lambda_2)$ [мкм].

2.2.10. На основании анализа особенностей спектра пропускания исследуемого образца определить материал, из которого он изготовлен.

3. ИЗМЕРЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ НА СПЕКТРОФОТОМЕТРЕ СФ-26 С ПРИСТАВКОЙ ПЗО-2

3.1. Подготовка к работе.

3.1.1. Включить спектрофотометр (пп. 1.1.3.-1.1.5). Установить в рабочее положение лампу накаливания (рукоятка 28 в положении «Н», горит сигнальная лампа «Н») (см. рис.39).

3.1.2. Снять камеру с фотоэлементами с приставки ПЗО-2, раскрыть выходную щель на 2[мм]. Открыть крышку приставки, снять рассеивающую пластинку, расположенную на задней стенке приставки, и установить на выходе монохроматора излучение с длиной волны $\lambda_{\text{контр}}=550\pm 10$ [нм].

3.1.3. Установить в одно из окон столика для образцов небольшое зеркало с наружным высоко отражающим покрытием ($R \approx 90\%$), затем, поднося лист папиросной бумаги поочередно ко всем элементам, находящимся по ходу луча, включая входное и выходное окна приставки, проверить расположение световых пучков. (Для зеркала 6- рис.42 – проверку производить при установке его в два положения «I» и «II», в положении «II» в пучок света вводится зеркало-образец).

3.1.4. При неправильном заполнении щели изображением источника излучения (наблюдать у диафрагмы 4 - см. рис.44), при несимметричном заполнении этой диафрагмы, а также при неравномерном и неполном освещении изображения зрачка монохроматора на зеркале 6 (при отсутствии срезания пучка перечисленными выше деталями) отрегулировать держатель с лампой накаливания (или с ртутно-гелиевой $\lambda_{\text{контр}}=546,1$ [нм] и водородной $\lambda_{\text{контр}}=650\pm 10$ [нм] лампами). При срезании пучка, несимметричном расположении изображения зрачка на зеркале 6 и несимметричном расположении пучка света на диафрагме 8 во входном окне приставки отрегулировать положение приставки и зеркал 3, 7, 6.

Внимание! Все регулировки проводить в присутствии лаборанта или преподавателя!

3.1.5. Проверку градуировки шкалы длин волн монохроматора производить согласно пп. 1.1.8-1.1.10 и 1.2.1.-1.2.5. Рукоятка 23 камеры (см. рис.43) в положении «100%». Крышка камеры закрыта.

3.2. Измерение отражательной способности.

3.2.1.Измерение отражательной способности производить аналогично измерению пропускательной способности (пп. 1.3.1-1.3.3).

3.2.2.Открыть крышку (см. рис.45) приставки. Закрепить на столе испытуемый образец (при измерении $R_{абс.}^2$), а также образец сравнения (при измерении $R_{отн}^2$); проследить, чтобы края образцов не выступали за край стола, и закрыть крышку приставки.

3.2.3.Установить требуемую длину волны, скомпенсировать темновой ток согласно пп. 1.3.5.-1.3.8.

3.2.4.Установить рукоятку 23 в положение «100%» и рукоятку 27 в положения «1», «2», «3», соответствующие расположению в фотометрическом пучке пустого окна столика (при измерении $R_{абс.}^2$) или окна с образцом сравнения (при измерении $R_{отн}^2$).

3.2.5.Открыть фотоэлемент, поставив рукоятку 15 (см. рис.39) шторки в положение «Откр.».

3.2.6.Установить фототок, соответствующий 100%-ной отражательной способности зеркала 6 или образца сравнения. Для этого, вращая рукоятку 12 механизма изменения ширины щели, установить стрелку измерительного прибора на деление «100%». Если ширина щели $\geq 0,1$ [мм], то следует увеличить чувствительность, поставив переключатель «Чувствительность» в положение «2», «3», «4», и повторить п. 3.2.5.

3.2.7.Установить рукоятку 23 (см. рис.45) в положение «Измерение», а рукоятку 27 - в положения «1», «2», «3», соответствующие расположению в пучке окна с испытуемым образцом, и снять отсчет по шкале пропускания.

3.2.8.Вычислить значение отражательной способности R ($R = \sqrt{T}$, где T - в относительных единицах).

3.2.9.Измерения с повышенной чувствительностью производить согласно п. 1.4.

Приставка ПЗО-2 позволяет измерять отражательную способность с точностью порядка 1% при $R \geq 30\%$ при $R \leq 10\%$ необходимо производить относительные измерения. В качестве эталона используют клиновидные образцы из стекла марки К-8.

4. ИЗМЕРЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ С ПОМОЩЬЮ РЕФЛЕКСОМЕТРА

4.1. Подготовка к работе.

4.1.1. Перед включением рефлексометра необходимо проверить начальные установки тумблеров и переключателей.

Так, цифровой вольтметр должен быть выключен, а переключатель «Род работы» должен быть установлен на измерение постоянного напряжения до 10[V]. Ручки регулировки напряжения стабилизированных выпрямителей, питающих фотоумножитель и лампу накаливания должны находиться в крайнем левом положении, тумблеры «Сеть 220 [V]» должны быть выключены.

4.1.2. Подключить к сети монохроматор МДР-3, стабилизированные выпрямители, цифровой вольтметр.

4.1.3. Тумблером «Сеть» включить стабилизированный низковольтный источник питания лампы накаливания. Пользуясь ручками грубой и точной регулировки выходного напряжения, установить на индикаторе выпрямителя напряжение 6-7[V]. Дать прибору прогреться в течение 30-40[мин].

4.1.4. Включить тумблер «Сеть» цифрового вольтметра. Дать вольтметру прогреться в течение нескольких минут.

4.1.5. Включить питающий фотоэлектрический умножитель. Дать прибору прогреться в течение получаса.

4.1.6. Установить выходное напряжение высоковольтного выпрямителя на величину 1500 [В].

4.2. Градуировка монохроматора по длинам волн.

4.2.1. Установить на оптической скамье перед конденсорной линзой монохроматора ртутно-гелиевую лампу ДРГС-12.

4.2.2. Включить ртутную лампу, заключенную в защитный металлический кожух со стеклянным окном.

4.2.3. Сфокусировать изображение источника на входную щель монохроматора.

4.2.4. На входную щель надеть диафрагму.

4.2.5. Сфокусировать короткофокусную лупу, стоящую за выходной щелью монохроматора, на одну спектральных линий. Рекомендуется выбрать желтый дублет ртути. Установить ширину входной щели монохроматора (0,05), широко раскрыть выходную щель монохроматора и вывести на нее желтую область спектра.

4.2.6. Уменьшая ширину выходной щели, добиться разрешения линий 577 и 579,1 [нм].

4.2.7. Просмотрев весь спектр, идентифицировать линии спектра ртути. Визуально сделать предварительную градуировку монохроматора.

4.2.8. Установить ширину выходной щели монохроматора 0,05 [мм].

4.2.9. Поставить за входной щелью монохроматора ФЭУ, нагрузкой которого является цифровой вольтметр.

4.2.10. Подать высокое напряжение на ФЭУ. Для этого включить тумблер «Выходное напряжение» ВС-22.

4.2.11. Провести градуировку монохроматора в видимой области спектра, снимая не менее трех отсчетов на цифровом вольтметре для каждой линии. Контроль осуществлять по максимальному отсчету на приборе. Величина напряжения, измеряемого цифровым вольтметром, не должна превышать 9[V].

4.2.12. Для исключения мертвого хода отсчетный барабан механизма поворота диспергирующей системы нужно поворачивать в одну сторону (от меньших длин к большим), чтобы выбрать люфт этого механизма.

4.3. Измерение отражательной способности.

4.3.1. Установить в оправы эталон и образец исследуемого оптического материала. С помощью регулировочных винтов на оправках вывести световые "зайчики" на центр входной щели монохроматора.

Для ряда значений длин волн в выбранном спектральном интервале измерить световой поток, пропорциональной отражательной способности эталона и образца исследуемого оптического материала (измерение длины волны осуществляется барабаном монохроматора). С табло цифрового вольтметра на каждой длине волны снимается три отсчета: отсчет с эталоном, помещенным в световой поток - $A_{эт.}$; отсчет с образцом оптического материала - $A_{обр.}$, (перемещение образца и эталона обеспечивается конструкцией штатива) и отсчет с выведенными образцом и эталоном - $A_{темн.}$ (световой поток перекрыт). Отражательная способность определяется

по следующей формуле:
$$R = \frac{A_{обр.} - A_{темн.}}{A_{эт.} - A_{темн.}} R_{эт.}$$

Регулируя напряжение питания лампы накаливания и входную щель монохроматора, а также варьируя предел измерения цифрового вольтметра (10 [V]; 1 [V]) добиваться на каждой длине волны превышения уровня светового сигнала $A_{обр.}$, $A_{эт.}$ над уровнем темного отсчета $A_{темн.}$ не менее, чем в 3-5 раз. В то же время $A_{обр.}$ и $A_{эт.}$ не должны превышать 5[V]. Это является необходимым условием работы на линейном участке вольт-амперной характеристики фотоэлектронного умножителя. Отсчет показаний вольтметра снимается в течение 15-20 [с]. При сканировании по спектру барабан монохроматора следует вращать в одну сторону (от меньших длин волн к большим), чтобы выбрать люфт поворотного механизма.

4.3.2. Измерения по пункту 1.8 провести в интервале и с шагом по длинам волн, заданным преподавателем.

5. ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ ПРОПУСКАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА СПЕКТРОФОТОМЕТРЕ СФ-46

Подготовка к измерению

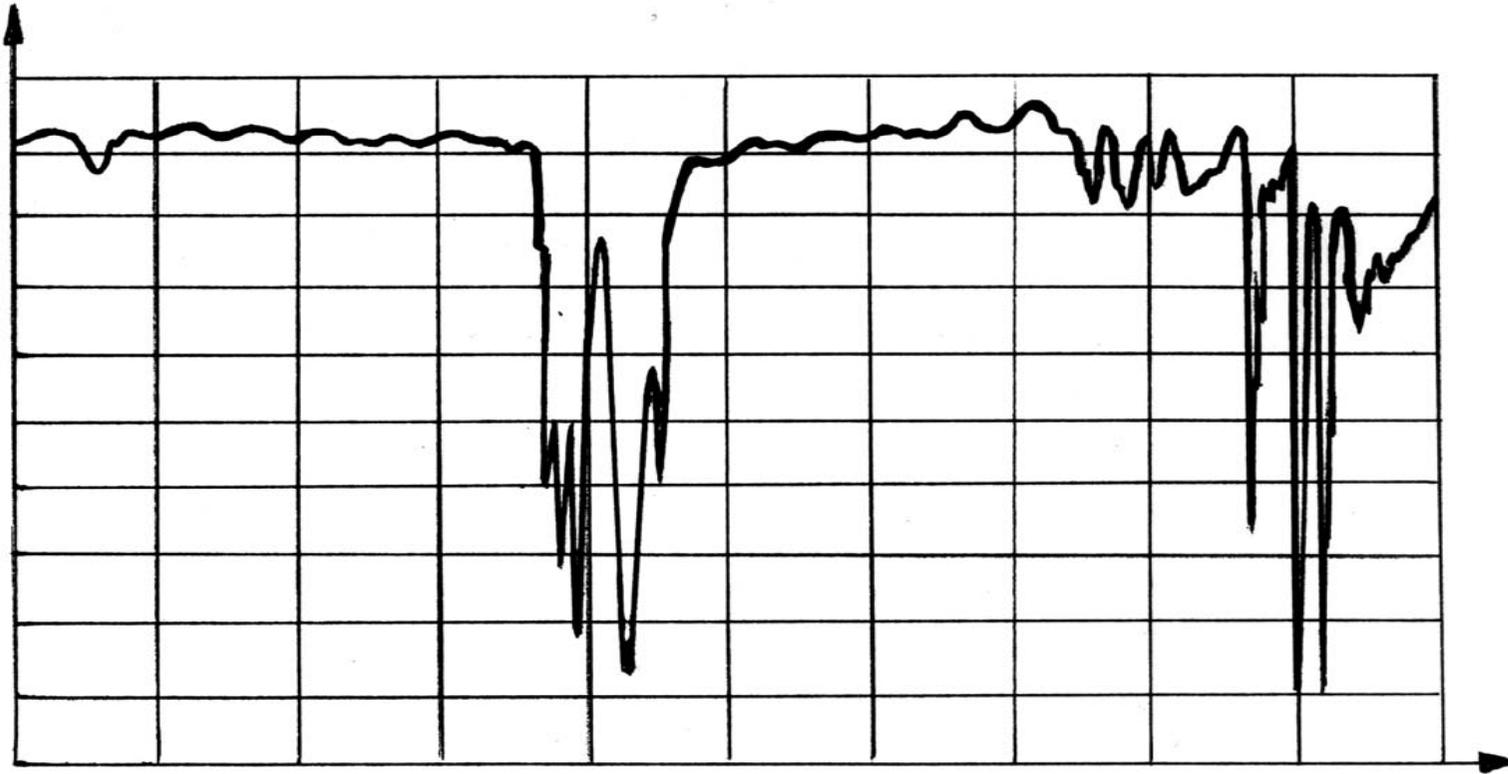
Снимать показания следует при плотно закрытой крышке кюветного отделения. Открывать крышку кюветного отделения можно только при установленной в положение «ЗАКР» рукоятке переключения шторки!!!

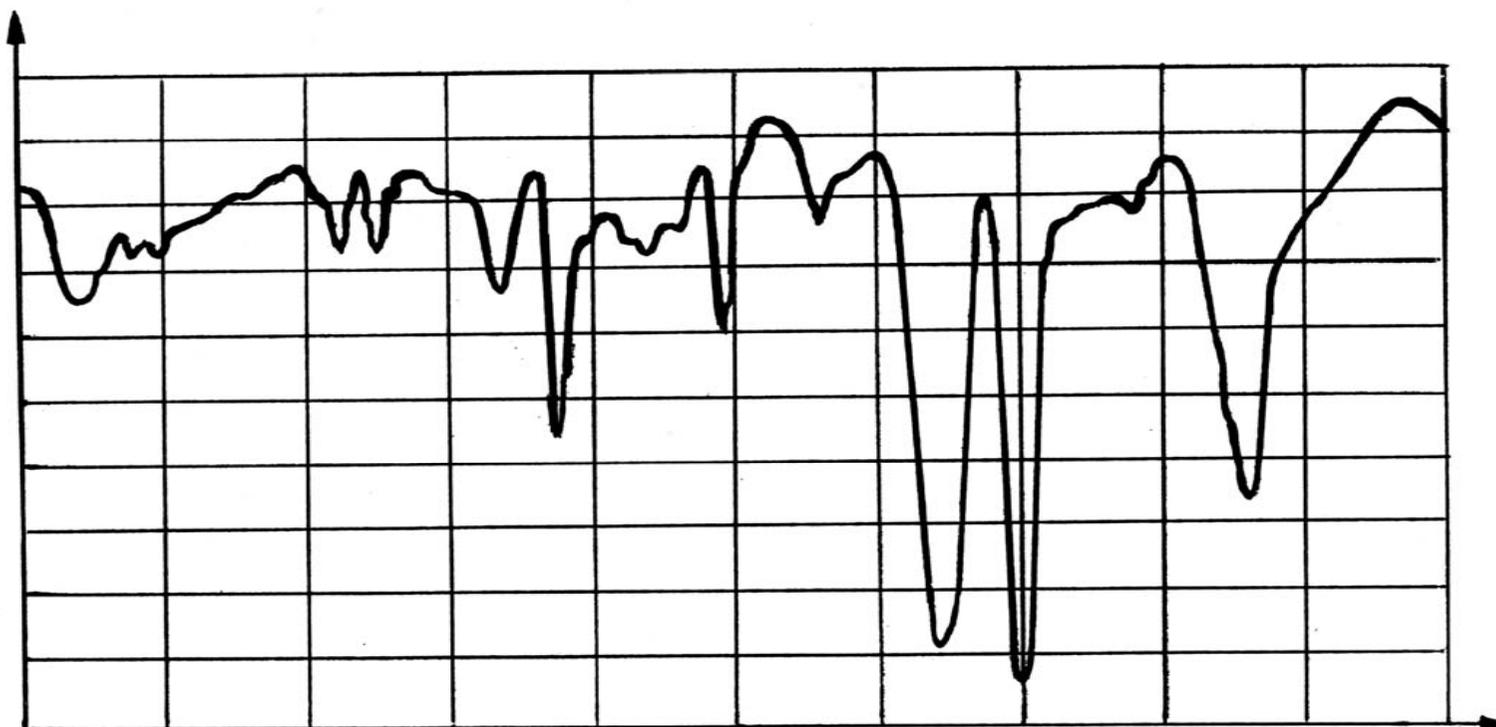
1. Включить спектрофотометр.
2. Установить в держатель исследуемые образцы. Установить держатель на каретку в кюветном отделении.
3. Установить требуемую длину волны, вращая рукоятку длин волн в сторону увеличения длин волн.
4. Установить в рабочее положение фотоэлемент и источник излучения, соответствующие выбранному спектральному диапазону измерения.

Измерение коэффициента пропускания

1. Установить рукоятку переключения шторки в положение «ЗАКР».
2. Нажать клавишу «Ш (0)».
3. Установить рукоятку НУЛЬ на фотометрическом табло числовое значение в диапазоне от 0,05 до 0,1. Показание с табло следует снимать, нажимая клавишу «Ш (0)» до появления показания, отличающегося от предыдущего не более чем на 0,001.
4. Установить на пути потока излучения контрольный образец. Можно проводить измерения относительно воздуха.
5. Установить рукоятку переключения шторки в положение ОТКР.
6. Нажимая клавишу «К (1)», рукояткой ЩЕЛЬ установить на фотометрическом табло показание в диапазоне от 0,5 до 5,0. Отсчитать 10 секунд и нажать клавишу «К (1)».
7. Нажать клавишу «t (2)», при этом на табло должно появиться показание $100,0 \pm 0,1$. Если показание имеет другое значение, необходимо повторить пункт 6.
8. Установить на пути потока излучения измеряемые образцы, перемещая каретку рукояткой, и при появлении показания, показание отличающегося от предыдущего не более чем на 0,1, снять показание с фотометрического табло. При нажатии клавиши «Ц/Р», спектрофотометр переходит в циклический режим измерения, производит измерение и каждые 5сек. высвечивает результат измерения.

Результаты измерения коэффициента пропускания занести в таблицу.





СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Лабораторная работа №1	
Определение остаточных напряжений в стекле	3
Краткая теоретическая часть к лабораторным работам №2, 3	8
Лабораторная работа №2	
Технологический контроль формы полированных поверхностей	13
Лабораторная работа №3	
Контроль клиновидности плоскопараллельных пластин	22
Лабораторная работа №4	
Технологический контроль взаимного расположения рабочих поверхностей призм	28
Лабораторная работа №5	
Определение положения оптической оси в одноосных кристаллах коноскопическим методом	36
Лабораторная работа №6	
Определение разрешающей способности призм	42
Лабораторная работа №7	
Контроль формы полированных сферических поверхностей теньвым методом	48
Лабораторная работа №8	
Склеивание линз	53
Лабораторная работа №9	
Определение концентрации хрома в кристаллах синтетического рубина	58
Лабораторная работа №10	
Исследование светопропускания стекол в ультрафиолетовой области спектра	63
Лабораторная работа №11	
Исследование спектральных характеристик цветных стекол	68
Лабораторная работа №12	
Исследование спектральных характеристик оптических материалов, прозрачных в инфракрасной области спектра	71
Лабораторная работа №13	
Исследование спектральных характеристик и определение концентрации неодима в образцах оптического люминесцентного стекла, активированного неодимом	73
Исследование спектральных характеристик оптических материалов	76
Описание и конструкция приборов	81
Спектрофотометр СФ-26	81
Спектрофотометр СФ-26 с приставкой ПЗО-2	83

Спектрофотометр СФ-46	85
Спектрофотометр ИКС-29	87
Рефлексометр	90
Методические указания и порядок измерения спектральных зависимостей пропускательной и отражательной способностей оптических материалов.	91
1.Порядок измерения пропускательной способности оптических материалов на спектрофотометре СФ-26.	93
2.Порядок измерения пропускательной способности оптических материалов на спектрофотометре ИКС-29.	96
3.Измерение отражательной способности на спектрофотометре СФ-26 с приставкой ПЗО-2.	98
4.Измерение отражательной способности с помощью рефлексометра.	100
5.Порядок измерения пропускательной способности оптических материалов на спектрофотометре СФ-46.	102
Приложение 1	103
Приложение 2	104



Кафедра Оптических Технологий

В соответствии с приказом Главного управления кадров промышленности Высшего Совета народного хозяйства СССР от 05.04.1930 N 12/87 образован Учебный комбинат точной механики и оптики. В состав комбината входил Ленинградский институт точной механики и оптики (ЛИТМО). В числе первых кафедр была образована Кафедра технологии обработки стекла, задачей которой была подготовка кадров для развивающегося отечественного приборостроения. При кафедре образована научно-исследовательская лаборатория (обработки оптического стекла), решавшая задачи создания отечественных оптических и обрабатываемых материалов.

В 1975 образована кафедра Технологии оптических деталей и покрытий. Её возглавил д.т.н., профессор Кузнецов Сергей Михайлович.

С 1988 года кафедрой возглавляет д.т.н., профессор Путилин Эдуард Степанович.

Важным вкладом в фундаментальную оптику является создание и развитие научной школы по формированию волнового фронта излучения с помощью многослойных систем, участие в выполнении проекта UNIDO по созданию оптического производства в Сирийском национальном научно-исследовательском центре (Дамаск).

В научных лабораториях кафедры прошли обучение более 10 стажеров из вузов России и СНГ, ГДР, Китая, Кореи и Сирии, а также аспиранты из Болгарии, Кореи и Сирии.

За время существования кафедры подготовлено более 500 инженеров оптиков-технологов, более 10 кандидатов наук, в том числе граждане Кореи, Болгарии, Израиля, Сирии, 1 доктор наук. С 1996 года кафедра переименована в кафедру Оптических технологий.

Кафедра проводит подготовку:

- бакалавров по направлению «Оптотехника», срок обучения – 4 года.
- магистров по специальности «Оптотехника», срок обучения – 6 лет.
- дипломированных специалистов по специальности «Оптические технологии и материалы», специализациям «оптические технологии» и «оптические покрытия». Срок обучения – 5,5 лет.

На кафедре обучаются аспиранты по специальности 05.11.07 «Оптико-электронные приборы и системы».

Для подготовки специалистов кафедра располагает учебно-производственными лабораториями:

- механической обработки оптических материалов,

- вакуумных методов изготовления оптических покрытий,
- методов и средств контроля параметров оптических элементов и покрытий.

На кафедре имеются учебные лаборатории, позволяющие закрепить практические навыки по курсам дисциплин, читаемых преподавателями кафедры в рамках учебных планов специальностей: Лазерная техника и лазерная технология, Оптико-электронные приборы и системы и Оптические технологии и материалы.

Преподаватели кафедры:

Профессор - Путилин Эдуард Степанович;

доценты: Лисицын Юрий Васильевич, Губанова Людмила Александровна, Старовойтов Сергей Федорович, Нужин Андрей Владимирович, Андреев Сергей Викторович, Карасёв Никита Николаевич, Рудин Ярослав Вадимович;

старший преподаватель: Погумирский Максим Викторович.

Сергей Михайлович Кузнецов

Эдуард Степанович Путилин

Юрий Васильевич Лисицын

Сергей Федорович Старовойтов

Александр Фридрихович Большанин

Владимир Тарасович Машехин

Андрей Владимирович Нужин

Александр Александрович Слободянюк

Никита Николаевич Карасёв

Оптическая Технология

Учебное пособие

Под редакцией профессора, д.т.н. Э.С. Путилина

В авторской редакции

Компьютерный набор и верстка

Дизайн обложки

Редакционно-издательский отдел СПб ГУ ИТМО

Зав. РИО

Н.П. Лемешевская

Н.Н. Карасёв

Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД №00408 от 05.11.1999

Подписано в печать 22.09.2006

Заказ №928 Тираж 100 экз.

Отпечатано на ризографе