

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Факультет электронной техники (ФЭТ)
Кафедра электронных приборов (ЭП)

**ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ
ЦВЕТНОГО ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА**

Учебно-методическое пособие для проведения лабораторных работ

студентов по направлению **12.03.03**

по дисциплине

Оптическое материаловедение

Акрестина А.С., Кистенева М.Г., Симонова Г.В.

Измерение коэффициента пропускания цветного оптического стекла: Учебно-методическое пособие для проведения лабораторных работ студентов по направлению **12.03.03** по дисциплине: Оптическое материаловедение / А.С. Акрестина, М.Г. Кистенева, Г.В. Симонова – Томск : ТУСУР. – 2018. – 13 с.

Целью лабораторной работы является определение спектральных характеристик цветного оптического стекла, измерение зависимости величины оптической плотности от длины волны для образцов цветного стекла в интервале длин волн 300-900 нм, изучение устройства и принципа действия спектрофотометра.

В ходе выполнения работ у студентов формируются:

- способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат (ОПК-3);
- способность обрабатывать и представлять данные экспериментальных исследований (ОПК-5);
- способность к наладке, настройке, юстировке и опытной проверке приборов и систем (ПК-4).

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Оптическое материаловедение».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Факультет электронной техники (ФЭТ)
Кафедра электронных приборов (ЭП)

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«___» _____ 2018 г.

**ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ
ЦВЕТНОГО ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА**

Учебно-методическое пособие для проведения лабораторных работ

студентов по направлению **12.03.03**

по дисциплине

Оптическое материаловедение

РАЗРАБОТЧИКИ:

ст.преп. каф. ЭП, к.ф.-м.н.,

_____ А.С. Акрестина

доцент. каф. ЭП, к.ф.-м.н.,

_____ М.Г. Кистенева

к.т.н.,

_____ Г.В. Симонова

Содержание

1 Введение.....	5
2 Теоретическая часть.....	5
2.1 Стекло оптическое цветное.....	5
2.2 Светофильтры.....	9
2.3 Характеристики светофильтров	10
2.4 Контрольные вопросы	11
3 Экспериментальная часть.....	11
3.1 Принцип действия спектрофотометра.....	11
3.2 Устройство спектрофотометра	12
3.3 Задание	13
3.4 Содержание отчета.....	14
4 Рекомендуемая литература	14

1 Введение

Стекло оптическое цветное предназначено для качественного изменения спектра проходящего светового потока путём полного или частичного поглощения отдельных участков спектра и используется для изготовления светофильтров для разнообразных приборов, применяемых для оптических и фототехнических измерений, в фотографической промышленности, в бытовой технике.

Цель работы: определение спектральных характеристик цветного оптического стекла. Измерение зависимости величины оптической плотности от длины волны для образцов цветного стекла в интервале длин волн 300-900 нм. Изучение устройства и принципа действия спектрофотометра.

2 Теоретическая часть

2.1 Стекло оптическое цветное

Цветное оптическое стекло предназначено для изготовления светофильтров с избирательным поглощением светового излучения в широком диапазоне длин волн, которое формируется крутыми границами в различных областях спектра, узкими и размытыми полосами поглощения и определяется природой центров окраски.

Поглощение в видимой части спектра воспринимается как цвет.

Существует несколько причин появления окраски стекол:

- окрашивание молекулярными красителями;
- окрашивание металлами в коллоидном состоянии;
- окрашивание полупроводниками в коллоидном состоянии;
- окрашивание, вызванное облучением;
- соляризация.

Молекулярные красители - это окислы тяжёлых металлов: кобальта, железа, никеля и других, при варке стекла они полностью растворяются в его основе. Характер спектральной кривой пропускания у стёкол, окрашенных молекулярными красителями, при изменении концентрации красителя практически не меняется, изменяется лишь пропускание (рис. 2.1).

Окрашивание металлами в коллоидном состоянии

В стеклах, содержащих растворенные металлы (медь, серебро, золото), центры окраски формируются при повторной термообработке (наводке) в виде коллоидных частиц размером 20-30 нм. При этом стекла окрашиваются в красный, желтый и пурпурный цвет (рис. 2.2). Спектр поглощения определяется как собственным избирательным поглощением атомов металла, так и рассеянием света коллоидными частицами.

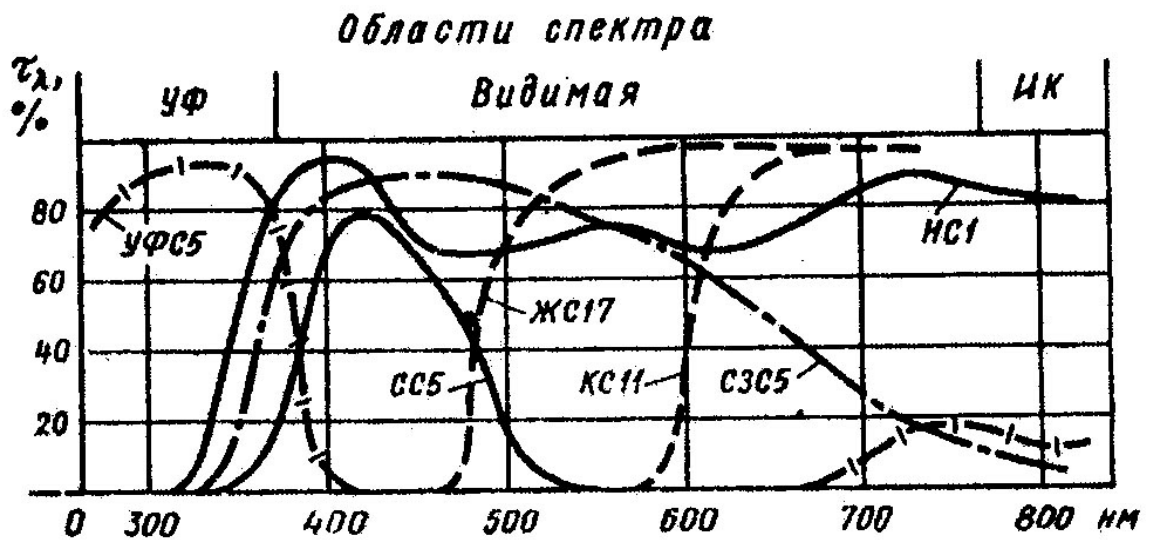


Рисунок 2.1 – Кривые спектрального пропускания цветных стекол, окрашенных молекулярными красителями

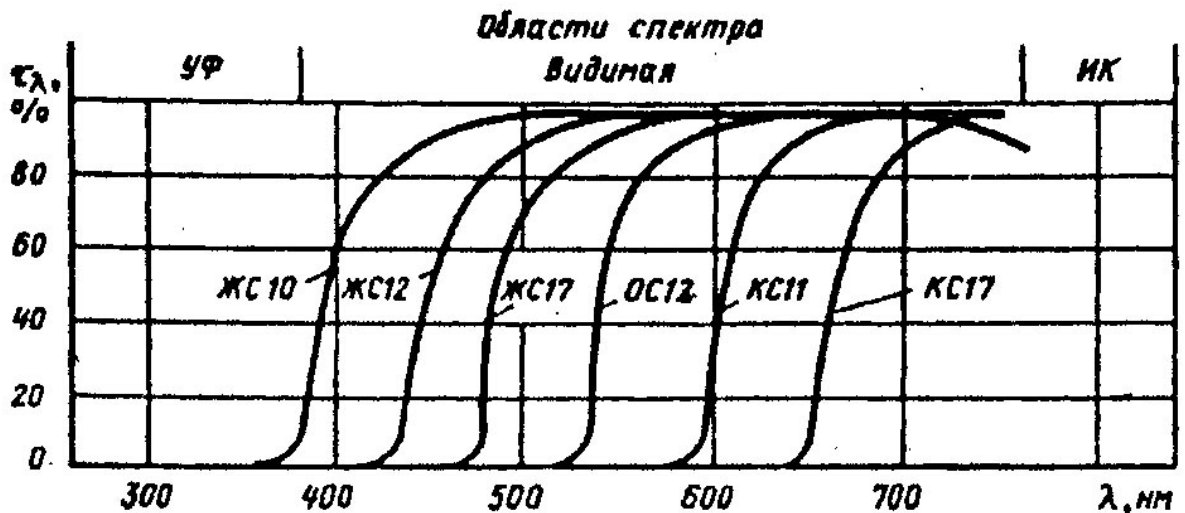


Рисунок 2.2 – Кривые спектрального пропускания цветных стекол, окрашенных коллоидными красителями

Окрашивание полупроводниками в коллоидном состоянии

Целый ряд стекол с окраской от желтого до черного (через оранжевый и красный) могут быть получены при введении в их состав CdS , CdSe и CdTe в разных комбинациях, а также при использовании смеси CdS и ZnS . Для наводки цвета их необходимо нагреть до 550-700 °С. Оптические спектры этих стекол отличаются от спектров стекол, окрашенных металлами в коллоидном состоянии. При этом вместо поглощения, характерного для стекол, окрашенных коллоидными растворами золота, серебра или меди, наблюдается резкая граница пропускания в узкой видимой или ближней инфракрасной области. Эта граница пропускания связана с образованием очень мелких полупроводниковых кристаллитов различных халькогенидов кадмия. Установлено, что цвет зависит от размера кристаллов, причем с увеличением их радиуса он смещается в красную область спектра.

Окрашивание, вызванное облучением

Под действием излучения высокой энергии в стекле образуется чрезвычайно много оптических дефектов. Они представляют собой захваченные электроны или дырки как в уже существующих позициях структурной сетки, так и в новых, которые образуются при разрыве связей. Большинство этих дефектов приводит к поглощению в ультрафиолетовой области спектра, т.е. не вызывает окрашивание стекла.

После радиационного облучения многие силикатные стекла становятся коричневыми. Цвет обусловлен образованием большого количества дефектов, особенно дырок, которые присутствуют в стеклах, содержащих щелочные или щелочноземельные оксиды. Такое оптическое поглощение, вызванное облучением, может быть устранено в результате отжига при достаточно высоких температурах.

Соляризация

Окрашивание стекол под действием солнечного света называется соляризацией. Некоторые дефекты, возникающие в условиях излучения высокой энергии, могут также образовываться и при ультрафиолетовом облучении, но классическая соляризация стекол обусловлена изменением валентности марганца в результате реакции, вызываемой ультрафиолетовым излучением.

Обозначение стекол

Маркировка цветного стекла состоит из букв и цифр. Цифра указывает порядковый номер марки стекла данного типа. Первая или две первых буквы являются начальными буквами наименования цвета. Так, например, надпись УФС 3 обозначает стекло, имеющее высокое пропускание в УФ области спектра N 3.

В соответствии с ГОСТ 9411-91 выпускаются цветные стёкла 14 типов: УФС, ФС, СС, СЗС, ЗС, ЖЗС, ОС, КС, ИКС, ПС (пурпурное), НС, ТС (тёмное), БС (бесцветное).

Тип БС используют для ограничения пропускания цвета в ультрафиолетовой и длинноволновой инфракрасной областях спектра при сохранении пропускания в видимой части.

Заготовки из цветного стекла нормируются по следующим **показателям качества:**

- показателю поглощения;
- бесцветности;
- неоднородности окраски;
- пузырности;
- двойному лучепреломлению.

Спектральные характеристики стекол

Спектральная характеристика стекол выражается числовыми значениями показателя поглощения α_{λ} или оптической плотности D_{λ} , для

различных длин волн и спектральными кривыми коэффициента пропускания τ_λ .

Показатель поглощения стекла для света длиной волны λ определяется из выражения:

$$\alpha_\lambda = -\lg \tau_\lambda / l,$$

где τ_λ – коэффициент пропускания стекла толщиной l (мм) для монохроматического света длиной волны λ .

Оптическая плотность (мера пропускания света – для прозрачных объектов и отражения – для непрозрачных.) D_λ массы стекла для монохроматического света с длиной волны λ связана с показателем поглощения α_λ и коэффициентом пропускания τ_λ следующим образом:

$$D_\lambda = -\lg \tau_\lambda = \alpha_\lambda \cdot l.$$

Для расчета оптической плотности светочувствительных элементов кроме поглощения света необходимо учитывать потери на отражение от поверхностей образца стекла и вводить соответствующую поправку.

Коэффициент пропускания τ'_λ светофильтра толщиной 1 мм при перпендикулярном падении монохроматического света данной длины волны равен:

$$\tau'_\lambda = (1 - \rho)^2 \cdot \tau_\lambda = (1 - \rho)^2 \cdot 10^{-\alpha_\lambda \cdot l},$$

где ρ – коэффициент отражения.

Оптическая плотность D'_λ светофильтра для данной длины волны равна:

$$D'_\lambda = -\lg \tau'_\lambda = D_\lambda + D_{\rho m} = \alpha_\lambda \cdot l + D_{\rho m},$$

где $D_{\rho m}$ – поправка на многократное отражение спектра излучения от поверхностей образца; n – показатель преломления, коэффициент отражения ρ и поправка на отражение $D_{\rho m}$.

Коэффициент отражения для расчета поправки на многократное отражение $D_{\rho m}$ определяется по формуле Френеля:

$$\rho = (n - 1)^2 / (n + 1)^2.$$

Поправка на отражение определяется из выражения:

$$D_{\rho m} = -2 \lg(1 - \rho)$$

Для видимой области спектра поправка на многократное отражение спектра излучения от поверхностей образца при измерении на спектрофотометре рассчитывается по формуле:

$$D_{\rho m} = -\lg \left[2n_{\lambda_e} / (n_{\lambda_e}^2 + 1) \right],$$

где $n_{\lambda_e} = 1.5182$.

Для ультрафиолетовой и инфракрасной областей спектра $D_{\rho m}$ следует рассчитывать, используя n для соответствующих длин волн (стекло К8

$n_{\lambda 0.365}=1.5358$, $n_{\lambda 0.9}=1.5085$). Величины λ_{\max} , λ_{np} характеризуют стекла длиной волны, соответствующей максимуму пропускания в рабочей части спектра, или границей пропускания. За границу пропускания условно принята длина волны, для которой коэффициент пропускания в два раза меньше максимального его значения для данного стекла или, что одно и то же, для которой оптическая плотность на 0,3 больше, чем наименьшее ее значение. Величиной λ_{np} обычно характеризуются стекла, круто срезающие коротковолновую область спектра (стекла марок ЖС, ОС, КС и ИКС).

2.2 Светофильтры

Светофильтр – оптическая деталь, меняющая спектральный состав, поляризацию и интенсивность падающего на него оптического излучения.

Классификация светофильтров из-за обилия классифицируемых признаков носит достаточно условный характер (рис.2.3).



Рисунок 2.3 – Классификация светофильтров

Абсорбционные светофильтры (от лат. *absorbeo* — поглощаю). Обладают спектральной избирательностью, обусловленной различным поглощением различных участков спектра электромагнитного излучения. Наиболее массовые фильтры производятся на основе окрашенных оптических стёкол или органических веществ (например, из желатины)

Кроме абсорбционных, существуют **интерференционные светофильтры**, имеющие совершенно иной принцип поглощения световой энергии определенного диапазона длин волн. Избирательное поглощение света осуществляется не частицами растворенного красителя, а путем гашения почти всех волн (кроме одной заданной), вследствие интерференции в тонком слое, нанесенном на стеклянную подложку. Светофильтр пропускает свет только той длины волны, на которую рассчитана толщина интерференционного покрытия. Эти светофильтры обладают самой высокой

монохроматичностью для любой длины видимой части спектра. Кривая пропускания интерференционных светофильтров представляет собой узкую симметричную "пиковую" полосу, занимающую диапазон длин волн порядка 5 – 10 нм.

Отражательные светофильтры

Действие отражательных фильтров основано на спектральной зависимости отражения непрозрачного материала. Преимуществом отражательного фильтра перед абсорбционными является единственность участвующей в оптической системе поверхности и отсутствии хроматических аберраций, вносимых преломляющими прозрачными средами

Поляризационные светофильтры — один из самых интересных и используемых видов светофильтров, задерживает поляризованный свет. Поляризационный светофильтр имеет тонкую прозрачную пленку с закрепленными очень мелкими кристаллами поляризующего вещества, ориентированными в одном направлении. Пленку крепят между двумя круглыми защитными стеклами. Светофильтр имеет двойную оправу: внешняя необходима для установки светофильтра на объективе, а внутренняя - для поворота его вокруг оптической оси и установки в положение, при котором происходит выделение и избирательное пропускание световых волн с определенной поляризацией и устранением бликов на изображении. Как правило, поляризационный светофильтр поглощает до 40% света, поляризованного параллельно оси поляризации.

Дисперсионные светофильтры (от лат. *dispersio* — рассеяние) основаны на зависимости показателя преломления от длины волны. В сочетании с отражающими и/или интерференционными фильтрами, а также растром часто служат для создания расщепляющих оптических систем — дихроических призм. Находят применение в современных мультимедийных проекторах, где являются основным инструментом разделения светового потока мощной лампы накаливания на три спектральных диапазона. Применяются в качестве эффективных фильтров для получения радужных изображений.

Монохроматические светофильтры пропускают только узкий диапазон волн; **селективные светофильтры** наоборот, задерживают часть спектра, а остальное — пропускают; **нейтральные** — поглощают свет равномерно для всех длин волн.

2.3 Характеристики светофильтров

Спектральная характеристика светофильтров выражается численными значениями показателя поглощения для различных длин волн, спектральными кривыми оптической плотности и коэффициентами пропускания стекла и самого светофильтра.

Для поляризационных светофильтров определяются следующие параметры: коэффициент светопропускания (τ фильтров серии ПФ он равен

32—40%), степень поляризации (98%), разрешающая способность (8 угловых секунд).

Многие светофильтры не могут быть получены в одном стекле. Оптимальные, наиболее близкие к теоретическим светофильтры с определенным ходом спектральных кривых, как правило, получаются при составлении двух или трех цветных стекол. Например, светофильтр, приводящий спектральную чувствительность селенового фотоэлемента к спектральной чувствительности глаза, состоит из стекол марок ЖЗС18 и ЗС8 толщиной соответственно 2,1 и 1,9 мм и при этом почти точно воспроизводит заданную спектральную кривую.

2.4 Контрольные вопросы

1. Нормируемые показатели качества цветного оптического стекла
2. Назовите количественные характеристики поглощения света
3. От чего зависит коэффициент поглощения?
4. Причины появления окраски стекол
5. Маркировка цветного стекла
6. Принцип действия спектрофотометра

3 Экспериментальная часть

3.1 Принцип действия спектрофотометра

Спектрофотометр Genesys2 предназначен для измерения спектральных коэффициентов направленного пропускания жидких и твердых прозрачных веществ в области спектра от 190 до 1100 нм.

Принцип действия спектрофотометра основан на измерении отношения двух световых потоков: светового потока, прошедшего через исследуемый образец, и потока, падающего на контрольный (эталонный) образец.

В монохроматический поток излучения поочередно вводятся «темная зона», расположенная на блоке светофильтров, контрольный образец и исследуемый образец.

При введении контрольного образца изменением ширины щели и чувствительности блока ФПУ автоматически устанавливается определенный уровень сигнала. При введении в поток излучения исследуемого образца световой поток изменяется пропорционально коэффициенту пропускания образца. С выхода блока ФПУ снимаются сигналы.

Коэффициент пропускания исследуемого образца τ рассчитывается по формуле

$$\tau = \frac{U - U_T}{U_K - U_T} \cdot 100,$$

где U_K – напряжение, пропорциональное световому потоку, падающему на образец; U – напряжение, пропорциональное световому потоку, прошедшему

через образец; U_T – напряжение, пропорциональное темновому току блока ФПУ.

3.2 Устройство спектрофотометра

Общий вид спектрофотометра Genesys 2 представлен на рис. 3.1, где 1 – источник излучения, 2 – LCD экран, 3 – отсек для образцов, 4 – гнездо для карты памяти, 5 – клавиатура, 6 – переключатель контраста, 7 – включение питания, 8 – крышка принтера.

Оптическая схема спектрофотометра Genesys 2 представлена на рис. 3.2.

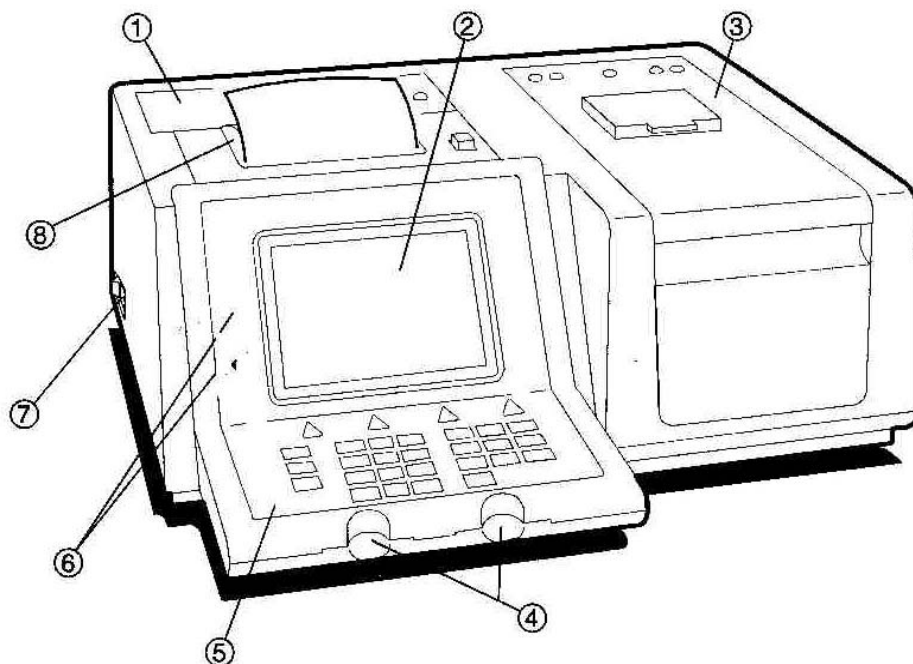
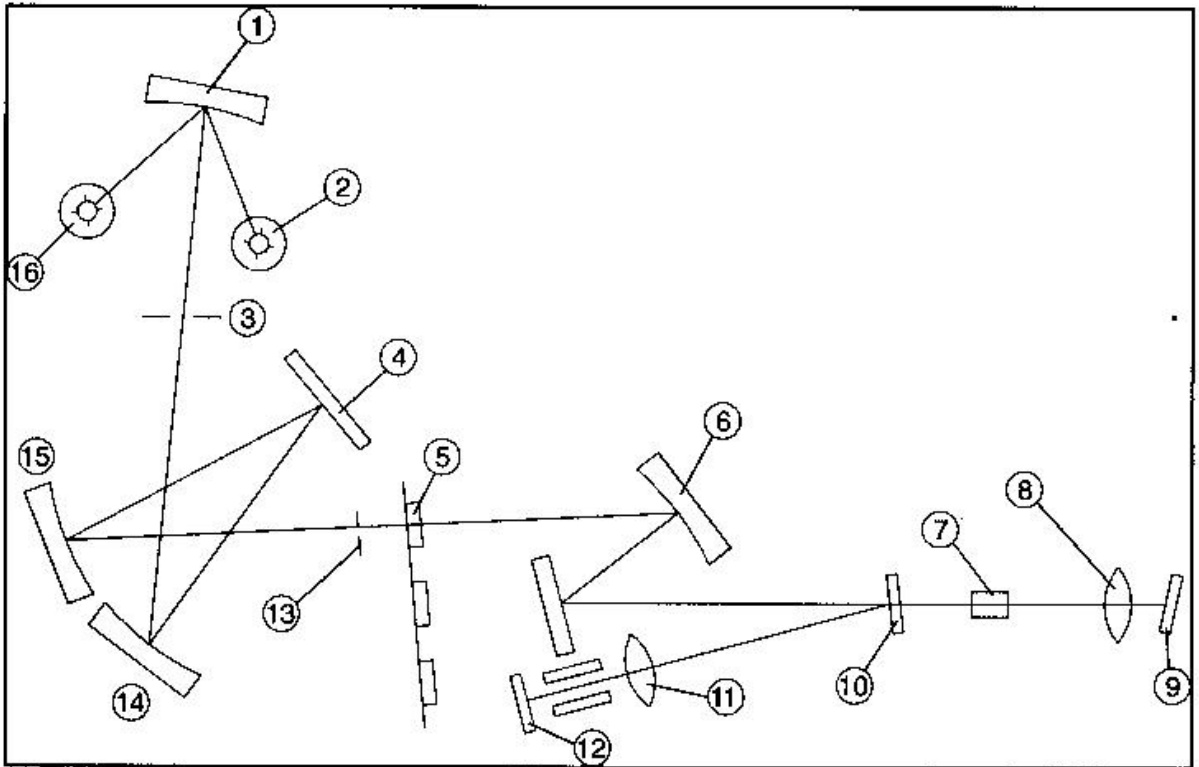


Рисунок 3.1 – Общий вид спектрофотометра Genesys 2

Установка заданных оператором длин волн и сканированием спектра производится синхронным поворотом дифракционных решёток с помощью механизма сканирования от шагового двигателя. Источники излучения переключаются введением в световой поток плоского зеркала, закреплённого на оси шагового двигателя.

В режиме измерения уровень выходного сигнала, пропорционального световому потоку, падающему на образец, поддерживается в заданных пределах одновременным переключением входных и выходных щелей монохроматора. Для устранения высших порядков дифракции и уменьшения мешающего излучения в световой поток автоматически вводятся светофильтры с помощью механизма введения фильтров.

Регистрация сигнала производится модулем, содержащим ФПУ и аналого-цифровым преобразователем (АЦП), сигнал от которого поступает на контроллер и передается в ЭВМ.



1 – плоское зеркало; 2 –вольфрамовая лампа; 3 – входная щель; 4 – дифракционная решетка; 5 – светофильтры; 6 – зеркало; 7 – исследуемый образец; 8 – конденсор; 9 – ФПУ исследуемого образца; 10 – светоделитель; 11 – линза; 12 – ФПУ эталонного образца; 13 – выходная щель; 14,15 – вогнутые зеркала; 16 – дейтериевая лампа.

Рисунок 3.2 – Оптическая схема спектрофотометра Genesys2

Порядок работы

1. Включите системный блок.
2. Включите спектрофотометр (тумблер 7 на рис. 3.1). Стабильная работа спектрофотометра обеспечивается через 10 минут после его включения.
3. На компьютере запустите браузер Mozilla Firefox и введите ссылку: <http://192.168.1.3/>.
4. Для работы в системе управления спектрофотометром необходимо ввести login (std) и пароль (std).
5. Установите в рабочее положение изучаемый образец, для этого нужно ввести положение платформы в миллиметрах (для контроля откройте крышку кюветного отделения).
 Задайте параметры сканирования: шаг сканирования 1 нм, диапазон длин волн, режим сканирования – пропускание.

3.3 Задание

1. Включите спектрофотометр.
2. Задайте диапазон длин волн (начало) 340, (конец) 1100 нм.

3. Запустите сканирование – кнопкой приступить. Сохраните полученные значения в формате xls.

4. Рассчитайте оптическую плотность и коэффициент поглощения. Коэффициент поглощения α_λ рассчитывается по формуле: $\alpha_\lambda = \frac{1}{t}d$, где d – оптическая плотность, t – толщина образца в см.

5. Постройте спектр пропускания исследуемых стекол, то есть зависимость коэффициента пропускания от длины волны – $\tau_\lambda(\lambda)$; спектр поглощения – $\alpha_\lambda(\lambda)$, из полученной зависимости определите длину волны, соответствующую положению максимума полосы поглощения

3.4 Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Введение
3. Описание схемы спектрометра
4. Результаты измерений
5. Графики спектров пропускания, поглощения цветных стекло
6. Список используемой литературы

4 Рекомендуемая литература

1. Материалы электронной техники: Учебник для вузов / Владимир Васильевич Пасынков, Валерий Сергеевич Сорокин. - 4-е изд., стереотип. - М. : ДМК, 2002 ; СПб. : Лань, 2002. - 368 с.
2. Материалы электронной техники: Задачи и вопросы: Учебное пособие для вузов / Б. Л. Антипов, В. С. Сорокин, В. А. Терехов. - 2-е изд. - СПб. : Лань, 2003. - 208 с.
3. Никоноров Н.В. Оптическое материаловедение: Основы прочности оптического стекла: Учебное пособие, курс лекций / Никоноров Н.В., Евстропьев С.К. // СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 102 с.

Учебное пособие

Акрестина А.С., Кистенева М.Г., Симонова Г.В.

Измерение коэффициента пропускания цветного оптического стекла

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Оптическое материаловедение»

Усл. печ. л. _____ Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40