

Работа 4.22

Изучение основных характеристик светофильтров

Оборудование: набор светофильтров, малогабаритный монохроматор МУМ, цифровой вольтметр В7-22.

Введение

Светофильтры — это приспособления, изменяющие спектральный состав или энергию световой волны, падающей на них, без изменения формы ее фронта. В отличие от спектральных приборов, светофильтры обладают значительно большим сечением фильтруемого пучка и большей апертурой.

Основные характеристики светофильтров следующие:

1. *Пропускание в максимуме полосы пропускания*

$$T = \frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)}, \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность света, падающего на светофильтр; I — интенсивность света, прошедшего через светофильтр в максимуме полосы пропускания (рис. 4.45).

Наряду с пропусканием светофильтр характеризуется оптической плотностью D :

$$D = \lg \frac{1}{T} = \lg \frac{I_0}{I}. \quad (2)$$

Если не учитывать многократных отражений в системе фильтров, то оптическая плотность нескольких последовательно размещенных фильтров равна сумме их плотностей:

$$D = \sum_{i=1}^n D_i. \quad (3)$$

2. *Длина волны λ_{\max}* , соответствующая максимуму полосы пропускания.

3. *Спектральная ширина полосы пропускания $2\delta\lambda$* , равная ширине спектрального интервала, на границах которого интенсивность прошедшего света равна половине интенсивности в максимуме полосы пропускания ($0,5I_{\max}$).

4. *Крылья полосы пропускания* — остаточная пропускательность I_{\min} в области спектра, отстоящего от I_{\max} на расстоянии, много большем λ_{\max} . Вместо остаточной пропускательности часто используют фактор контрастности светофильтра

$$C = \frac{I_{\max}}{I_{\min}}. \quad (4)$$

5. *Апертура светофильтра* — угловая ширина светового пучка, при которой монохроматичность светофильтра еще заметно не ухудшается от углового расширения падающего на светофильтр светового пучка.

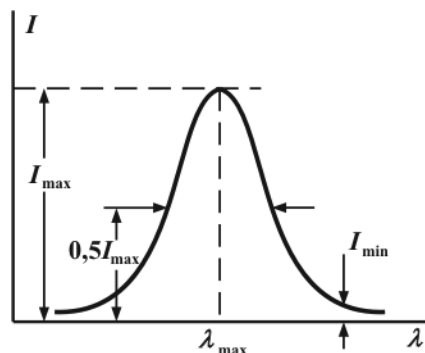


Рис. 4.45

Светофильтры называются *серыми* или *нейтральными*, если их оптическая плотность в исследуемом спектральном промежутке не зависит от длины волны. Достаточно серыми в видимой и ближней ультрафиолетовой областях спектра являются тонкие пленки алюминия и платины, которые получают путем напыления металла на стеклянную или кварцевую подложку.

Фильтры, оптическая плотность которых зависит от длины волны, называются *селективными*.

Селективные светофильтры предназначаются или для отделения широкой области спектра, или для выделения узкой спектральной области. Светофильтры последнего типа называются узкополосными или монохроматическими. Монохроматические светофильтры часто применяют вместо других спектральных приборов. Светофильтры обычно пропускают значительно больший поток, чем приборы с диспергирующими элементами (призмами, дифракционными решетками и т. п.). Однако разрешающая способность светофильтра невелика — в большинстве случаев ширина полосы пропускания составляет десятки нанометров. Лучшие монохроматические светофильтры имеют ширину полосы пропускания 0,1 нм, однако количество света, пропускаемого ими, невелико. Поэтому основное назначение светофильтра при спектральных исследованиях — приближенная монохроматизация или неселективное ослабление излучения.

Существуют разные типы монохроматических светофильтров. Чаще всего широко применяются *абсорбционные* светофильтры. Ослабление света в них происходит главным образом в результате его поглощения веществом фильтра. Частичное ослабление света обусловлено также отражением от поверхностей фильтра. Эти потери относительно небольшие. Незначительны также потери, связанные с рассеиванием света в объеме поглощающего тела и на его поверхности.

Световой поток (интенсивность), прошедший через поглощающий слой, ослабляется в соответствии с законом Бугера — Ламберта:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) e^{-a(\lambda)l}. \quad (5)$$

В настоящее время наиболее часто употребляются стеклянные абсорбционные светофильтры. Сравнительно реже применяются жидкостные и газовые абсорбционные фильтры.

Отражательными светофильтрами являются металлические пленки и диэлектрические покрытия. Такие пленки наносятся на кварцевую или стеклянную подложку испарением при высоком вакууме или напылением. В отличие от абсорбционных фильтры из металлических пленок ослабляют свет главным образом в результате отражения от поверхности. Селективные отражательные светофильтры представляют собой многослойные диэлектрические интерференционные зеркала (рис. 4.46), получаемые нанесением на прозрачную подложку тонких диэлектрических слоев с одинаковой оптической толщиной, задаваемой условием

$$n_1 l_1 = n_2 l_2 = \frac{\lambda}{4} \quad (n_1 > n_2, n_1 > n). \quad (6)$$

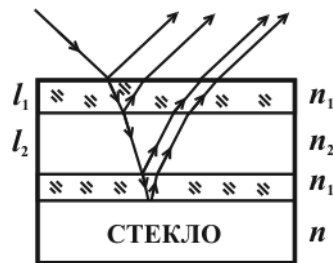


Рис. 4.46

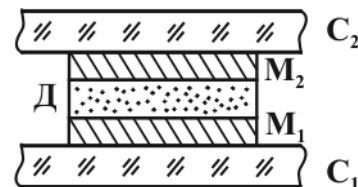


Рис. 4.47

Широкое распространение получили интерференционные светофильтры, действие которых основано на явлении *многолучевой интерференции*. На рисунке 4.47 показано устройство интерференционного светофильтра. Он представляет собой стеклянную или кварцевую подложку C_1 диаметром в несколько сантиметров, хорошо отполированную с двух сторон, на одну из которых нанесен путем испарения в вакууме последовательно полупрозрачный отражающий слой M_1 , затем прозрачный разделительный слой D из диэлектрика оптической толщиной

$$nl = (2m + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где m — целое число, и после этого второй отражательный полупрозрачный слой M_2 . Для защиты от механических повреждений и удаления ненужных полос пропускания нанесенные слои покрываются второй стеклянной пластиной C_2 из цветного стекла (абсорбционным светофильтром).

Интерференционные светофильтры выделяют узкие области спектра (до 1,5 — 2 нм) с меньшими потерями света, чем абсорбционные. Главный недостаток

интерференционных светофильтров — зависимость полос пропускания от угла падения световых лучей на поверхность светофильтра.

Дисперсионные светофильтры основаны на дисперсии света — зависимости показателя преломления от длины волны — и представляют собой кювету, наполненную порошком прозрачного вещества. В кювету заливают жидкость, зависимость показателя преломления которой от длины волны подобрана таким образом, чтобы показатели преломления жидкости и порошка совпадали только для определенной длины волны. Такая кювета оптически однородна для световых лучей этой длины волны и рассеивает излучение других длин волн, лежащих по обе стороны данной длины волны.

Описание установки и метода. Измерения в данной работе выполняются на универсальном малогабаритном монохроматоре МУМ. Монохроматор МУМ предназначен для выделения монохроматического излучения, исследования источников света, приемников излучения, решения аналитических задач и других работ в области спектра 200 — 800 нм.

Оптическая схема монохроматора приведена на рисунке 4.48.

Излучение от лампы 1 через конденсор 2 падает на входную щель 3 и при помощи зеркала 4 заполняет вогнутую дифракционную решетку 5, играющую роль фокусирующего и дисперсионного элементов. В приборе используется решетка с переменным шагом нарезки и криволинейными штрихами, что дает возможность существенно компенсировать расфокусировку и другие aberrации. Дифрагированное решеткой излучение направляется на входную щель 7 (при выведенном плоском зеркале 6) или на входную щель 8 (при введенном зеркале 6). Источник излучения подключается к источнику питания. Схемой предусмотрено изменение накала лампы источника излучения.

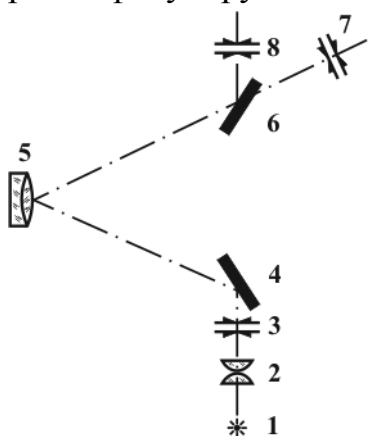


Рис. 4.48

Сигнальная лампа показывает наличие напряжения на вторичной обмотке трансформатора. После выпрямления и фильтрации напряжение с вторичных обмоток трансформатора подается на схему приемника излучения. Блок приемника излучения состоит из фотоэлемента, усилителя, цепи обратной связи с потенциометром установки нуля. С анодной нагрузки фотоэлемента сигнал поступает на вход измерительного усилителя, который собран на электрометрическом триоде ЭМ-7, обладающим высоким входным сопротивлением. Регистрация интенсивности излучения в относительных единицах осуществляется по шкале цифрового вольтметра В7-22.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение основных характеристик светофильтров.

1. Проверьте подключение источника излучения и приемника излучения, а также цифрового вольтметра к блоку питания.
2. Подключите блок питания.
3. Измерьте распределение интенсивности $I_0(\lambda)$ в спектре при отсутствии светофильтра. Изменения длины волны проводите через 5 нм в диапазоне 350 — 800 нм.
4. Установите красный светофильтр на пути излучения и измерьте распределение интенсивности $I(\lambda)$ в диапазоне длин волн 540 — 750 нм.
5. Аналогичные измерения проведите для желтого светофильтра в диапазоне 450 — 750 нм, синего светофильтра в диапазоне 300 — 600 нм.
6. Постройте графики зависимости $I_0(\lambda)$ и $I(\lambda)$ для соответствующих светофильтров и по полученным кривым $I(\lambda)$ определите для каждого светофильтра ширину полосы пропускания $2\delta\lambda$, фактор контрастности C и длину волны λ_{\max} .
7. Определите для исследуемых светофильтров пропускание T и оптическую плотность D .
8. Установите на пути излучения два светофильтра (синий и желтый) и измерьте распределение интенсивности $I_{1,2}(\lambda)$ в спектре пропускания двух светофильтров в диапазоне 300 — 600 нм.
9. Определите оптическую плотность $D_{1,2}$ для двух светофильтров.
10. Проверьте выполнение равенства $D_{1,2} = D_1 + D_2$.
11. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	λ	I ₀	I	I _{1,2}	2δλ	C	λ _{max}	T	D	D _{1,2}

Задание 2. Определение основных характеристик интерференционного светофильтра.

1. Установите на пути излучения интерференционный светофильтр.
2. Измерьте распределение интенсивности $I(\lambda)$ светофильтра в диапазоне 450 — 580 нм при разных углах падения световых лучей на поверхность светофильтра. Угол падения световых лучей изменяйте от 0° до 40° через 10°.
3. Определите для интерференционного светофильтра пропускание T , оптическую плотность D , ширину полосы пропускания $2\delta\lambda$, фактор

контрастности C для случая, когда свет падает по нормали к поверхности светофильтра.

4. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	λ	φ	I	$2\delta\lambda$	C	λ_{\max}	T	D
-------	-----------	-----------	-----	------------------	-----	------------------	-----	-----

5. Постройте график зависимости $\lambda_{\max}(\varphi)$.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ УИР

Определите фактор контрастности при различных углах падения света на поверхность интерференционного светофильтра и постройте график зависимости $C(\varphi)$.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие приспособления называют светофильтрами?
2. Назовите основные характеристики светофильтров?
3. Перечислите существующие типы монохроматических светофильтров?
4. Какое явление лежит в основе принципа действия абсорбционных светофильтров?
5. Как устроен селективный отражательный светофильтр?
6. Каково строение простейшего интерференционного светофильтра?
7. Что представляет собой дисперсионный светофильтр?
8. Какая и для чего используется в монохроматоре МУМ дифракционная решетка?
9. Как объяснить зависимость $\lambda_{\max}(\varphi)$ для интерференционного светофильтра?
10. Какому условию удовлетворяет толщина слоя диэлектрика в интерференционном светофильтре? Почему?