

Ф. А. КОРОЛЕВ и А. Ю. КЛЕМЕНТЬЕВА

ДИСПЕРСИОННЫЕ СВЕТОФИЛЬТРЫ ВЫСОКОЙ МОНОХРОМАТИЧНОСТИ

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 6 I 1954)

Для выделения узких спектральных областей из спектра излучения источника могут быть применены монохроматор или монохроматический светофильтр. Монохроматор дает возможность получить монохроматические излучения, но не приспособлен для рассматривания и изучения таких объектов, как солнце, ландшафт или некоторые биологические объекты в свете заданной длины волны. В этом случае удобно применить дисперсионный или другой монохроматический светофильтр, позволяющий получить монохроматическое изображение изучаемого объекта. Дисперсионный светофильтр также очень прост и удобен в работах по грубому визуальному спектральному анализу, при измерениях хода показателя преломления, вращения плоскости поляризации, при исследовании некоторых фотохимических процессов, например фотохимических реакций органических веществ, и т. д.

Так как дисперсионный светофильтр мало известен в литературе, то представляет интерес более подробно изучить его свойства, а также пути увеличения монохроматичности и контрастности.

Дисперсионный светофильтр для видимой области спектра представляет плотную упаковку порошка из оптического стекла (размер частиц от 0,1 до 2,0 мм в диаметре) в стеклянной кювете. Порошок пропитывается органической жидкостью, заполняющей промежутки между частичками стекла. Принцип действия светофильтра был открыт в 1884 г. Христиансенom ⁽¹⁾ и состоит в следующем. Жидкость, обычно органическая, подбирается так, чтобы кривые дисперсии жидкости и стекла пересекались при соответствующей длине волны λ_0 . Тогда в точке λ_0 они имеют одинаковые показатели преломления, среда становится оптически однородной; свет длины волны λ_0 проходит через светофильтр, как через плоско-параллельную прозрачную пластинку. Лучи других длин волн отражаются и отклоняются на каждой границе стекло — жидкость в зависимости от разницы показателей преломления стекла и жидкости.

Так как кривые дисперсии быстрее расходятся с синей стороны, то светофильтр имеет, соответственно, более резкий синий край полосы пропускания, чем красный. Показатель преломления жидкости быстрее меняется с температурой в сравнении со стеклом, поэтому цвет пропущенного света быстро меняется с температурой. При нагревании светофильтра полоса пропускания смещается в фиолетовую часть спектра. Это свойство позволяет менять положение полосы пропускания, но делает необходимым термостатирование светофильтра с точностью до $0,1^\circ$. Перемещение полосы пропускания с температурой изображено на рис. 1.

Дисперсионные светофильтры в зависимости от назначения имеют разную конструкцию и применяются в видимой, ультрафиолетовой

и инфракрасной областях спектра. Наилучших результатов по созданию светофильтров добились: Вейгерт — для видимой области спектра, Коон и Фрагштейн — в ультрафиолете. Светофильтры для инфракрасной области разрабатывали Барнес и Боннер. Теорию светофильтров разрабатывали Сэти, Зогани, Геффкен и в последнее время Раман. Он дал наиболее простую теорию, которая дает форму кривой пропускания светофильтра в виде:

$$I = I_0 e^{-k^2 \pi^2 (n_1 - n_2)^2 \Delta z / \lambda^2}, \quad (1)$$

где $n_1 - n_2$ — разница показателей преломления двух фаз; k — множитель порядка единицы; Δ — максимальное расстояние, проходимое лучом в частице средних размеров; z — толщина светофильтра.

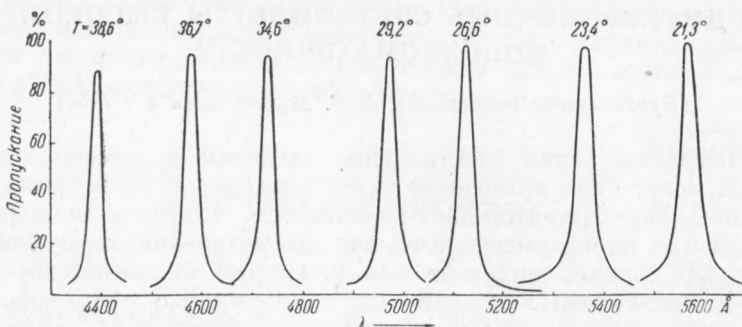


Рис. 1

Светофильтр может помещаться в параллельном пучке света между двумя линзами; в этой схеме его данные не зависят от положения между линзами. Схему можно упростить, оставив одну линзу и поместив светофильтр позади нее; тогда работа

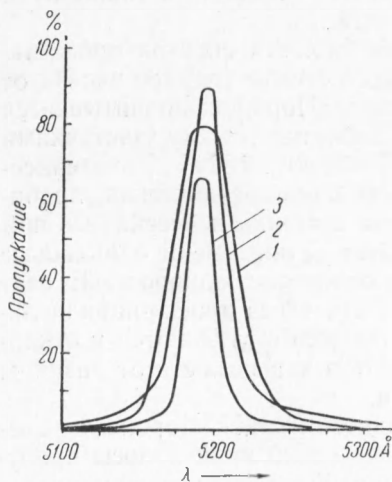


Рис. 2

светофильтр — линза. Третий путь — это использование нескольких диафрагм для исключения мешающего света; в этом случае необходимо располагать светофильтр на значительном расстоянии от приемника энергии, так как монохроматичность зависит от расстояния. В рассеянном свете светофильтр не работает.

Целью данной работы являлось уменьшение ширины полосы пропускания и увеличение контрастности дисперсионных светофильтров. Основные характеристики светофильтра — длина волны в максимуме пропускания, ширина спектральной полосы пропускания, коэффициент пропускания — определялись при помощи первой схемы. Полоса пропускания определялась при помощи спектрографа ИСП-51 фото-

графическим способом. Коэффициент пропускания светофильтра снижается от неоднородности частиц его по показателю преломления и температуре, но он достигает большей величины $\sim 100\%$. Коэффициент пропускания светофильтра уменьшается с ростом толщины и уменьшением размера частиц до $60-70\%$. Длина волны в максимуме пропускания изменяется в зависимости от температуры и состава жидкости.

На ширину спектральной полосы пропускания влияют следующие факторы: чем больше угол пересечения кривых дисперсии, тем меньше ширина полосы; ширина возрастает с увеличением интенсивности падающего света. Ширина убывает с увеличением произведения толщины сосуда на размер частиц по формуле (1).

Но нужно учесть, что с возрастанием размера частиц ореол мешающего света придвигается так близко к изображению, что его нельзя отделить диафрагмами — это сказывается на увеличении крыльев кривой пропускания светофильтра, они становятся значительными, светофильтр теряет контрастность. Для увеличения контрастности и монохроматичности светофильтра целесообразно скомбинировать два светофильтра: один из них обрезает крылья другого, дающего в то же время малую ширину полосы пропускания. Экспериментальные данные исследования двойных дисперсионных светофильтров даны в табл. 1 и на рис. 2. Площадь входной диафрагмы $S_{вх} = 0,4 \text{ мм}^2$, толщина светофильтра 13 мм.

Таблица 1

	$\lambda_{\text{макс}}$ в Å	Ширина $(\Delta\lambda)_{1/2}$ в Å	Ширина $(\Delta\lambda)_{1/10}$ в Å	Пропускание в %
1-й светофильтр (кривая 1) . . .	5194	38	90	90
2-й светофильтр (кривая 2) . . .	5194	45	85	80
Комбинированный светофильтр (кривая 3)	5194	22	50	66

Ширина полосы пропускания комбинированного светофильтра $(\Delta\lambda)^{1/2}$, считая между точками, где $I/I_0 = 1/2$, равна 22 Å, светофильтр имеет значительно большую контрастность, нежели однократный светофильтр.

Дальнейшее повышение монохроматичности и контрастности можно осуществить, регулируя толщину обоих светофильтров. Однократные светофильтры имеют свои преимущества в том отношении, что они менее чувствительны к колебаниям температуры и имеют большее пропускание в максимуме. Зато комбинированные светофильтры существенно превосходят их в отношении монохроматичности и контрастности.

На основании вышеизложенного можно ожидать, что комбинированные дисперсионные светофильтры найдут себе применение в астрофизике, спектроскопии и практической оптике.

Поступило
4 XI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. Christiansen, Ann. d. phys. Chem., **23**, 298 (1884); **24**, 439 (1885). ² N. K. Setny, Proc. Ind. Cult. Sci., **6**, 121 (1920). ³ C. M. Sogani, Phil. Mag., **1**, 321 (1926). ⁴ F. Weigert, H. Staude, Zs. phys. Chem., Abt. A, **130**, 607 (1927). ⁵ H. Staude, E. Elvegard, ibid., Abt. B, **2**, 149 (1929). ⁶ H. Kohn, K. Fragstein, Phys., Zs., **33**, 929 (1932). ⁷ K. Fragstein, Ann. d. Phys., **13**, 22 (1932). ⁸ R. B. Barnes, I. G. Bonner, Phys. Rev., **49**, 732 (1936). ⁹ C. V. Raman, Proc. Ind. Acad. Sci., A, **29**, 381 (1949).