

УДК 535.345.6

ОТРЕЗАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ, СОГЛАСОВАННЫЕ С УЗКОПОЛОСНЫМ ПРОПУСКАЮЩИМ ФИЛЬТРОМ

Лунашко Е. А., Овчаренко А. П., Шкляревский И. Н.

Предложена конструкция коротковолнового и длинноволнового отрезающих фильтров и методика согласования их с узкополосным пропускающим фильтром. Контроль толщин слоев отрезающих фильтров при их изготовлении ведется сквозным методом на длине волны пропускающего фильтра.

Прототипом большинства отрезающих фильтров является фильтр

$$S(0.5AB0.5A)^kS, \quad (1)$$

где k — целое число, A и B — четвертьволновые ($0.25\lambda_0$) слои соответственно с показателями преломления n_A и n_B , а S — ограничивающие среды с показателем преломления n . При $n_A > n_B$ (1) является коротковолновым, а при $n_A < n_B$ — длинноволновым отрезающим фильтром. Дальнейшее подавление вторичных минимумов пропускания в области прозрачности может быть осуществлено оптимальным выбором n_A , n_B и n [1] либо изменением структуры внешних слоев [2-5].

В тех случаях, когда отрезающий фильтр используется в комплекте с узкополосным пропускающим фильтром, достаточно подавить вторичные минимумы пропускания в сравнительно небольшой области спектра. Эта область выбирается так, чтобы отрезающий фильтр, пропуская полосу узкополосного фильтра с длиной волны λ_ϕ , полностью отрезал его побочную полосу пропускания в районе λ_0 . Этим условиям удовлетворяет отрезающий фильтр [6], у которого оптические толщины двух крайних слоев g_1A и g_2B находятся из условия полного просветления отрезающего фильтра на длине волны λ_ϕ . Однако изготовление такого фильтра встречает технологические трудности, связанные с контролем толщин слоев g_1A и g_2B в процессе их осаждения, зависящих к тому же от числа слоев $2k+1$. Эти трудности удалось избежать в предлагаемой нами конструкции отрезающих фильтров.

Представим отрезающий фильтр (1) в виде

$$S(\alpha A_0 2\beta B_0 \alpha A_0)^k S, \quad (2)$$

где A_0 и B_0 — четвертьволновые слои для длины волны λ_ϕ , соответствующей полосе пропускания узкополосного фильтра с показателями преломления n_A и n_B , а α и β — коэффициенты, выбранные так, чтобы эффективная оптическая толщина ячейки

$$\alpha A_0 2\beta B_0 \alpha A_0 \quad (3)$$

была равна $0.5\lambda_\phi$ [7]. Сравнение оптических толщин слоев многослойников (1) и (2) дает

$$\alpha = \beta, \quad (4)$$

$$\lambda_\phi = \frac{\lambda_0}{2\alpha}. \quad (5)$$

Обозначим коэффициент отражения и скачок фазы на границе слоя $2\beta B_0$ с $\alpha A_0 S$ соответственно через R и δ . Тогда для ограниченной средами полуволновой ячейки (3) для длины волны λ_ϕ коэффициент пропускания

$$T = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2(\beta\pi - \delta)} = 1, \quad (6)$$

что возможно при $\delta = \beta\pi$. Скачок фазы δ может быть найден из известного выражения

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2n_A n_B (n_A^2 - n^2) \sin \alpha\pi}{(n_A^2 - n_B^2)(n_A^2 + n^2) - (n_A^2 + n_B^2)(n_A^2 - n^2) \cos \alpha\pi},$$

откуда, учитывая (4) и равенство $\delta = \beta\pi$, получим

$$\cos \alpha\pi = \frac{(n_A - n_B)(n_A^2 + n^2)}{(n_A + n_B)(n_A^2 - n^2)}.$$

Уравнения (5) и (8) позволяют найти связь между λ_0 и λ_ϕ

$$\lambda_0 = \frac{2\lambda_\phi}{\pi} \operatorname{arc} \cos \left[\frac{(n_A - n_B)(n_A^2 + n^2)}{(n_A + n_B)(n_A^2 - n^2)} \right].$$

Поскольку полоса высокого отражения λ_0 фильтра (1) должна полностью перекрывать побочную полосу пропускания узкополосного фильтра, на λ_ϕ налагается дополнительное условие

$$\lambda_0 = \lambda_\phi \frac{1 \pm \frac{2}{\pi} \operatorname{arc} \sin \frac{n_A - n_B}{n_A + n_B}}{1 \mp \frac{2}{\pi} \operatorname{arc} \sin \frac{n_A - n_B}{n_A + n_B}},$$

задающее максимально допустимую разность $|\lambda_0 - \lambda_\phi|$. При необходимости эта разность может быть несколько уменьшена. Верхние знаки в (10) относятся к случаю $\lambda_0 > \lambda_\phi$, а нижние — $\lambda_0 < \lambda_\phi$.

При заданных значениях λ_ϕ , λ_0 , n_A и n_B уравнение (9) может быть удовлетворено только лишь при определенном значении показателя преломления n ограничивающих сред. В этом случае, поскольку пропускание ограниченной средой S полуволновой ячейки (3) $T=1$, такой отрезающий фильтр будет полностью прозрачен на длине волны λ_ϕ и при достаточно большом числе слоев $2k+1$ прозрачен в районе λ_0 .

Для обычно использующихся в видимой области спектра веществ с показателями преломления n_A и n_B , удовлетворяющими (9) с учетом (10), значения n значительно больше показателей преломления существующих подложек. Нужное значение n можно получить, осаждая дополнительные слои, рассчитанные так, чтобы эффективные показатели преломления n_3 системы подложка—слои для длины волны λ_ϕ удовлетворяли условиям (7) и (10).

Одним из возможных решений является нанесение дополнительных четвертьволновых ($0.25 \lambda_\phi$) слоев g_1A или g_1A и g_1B , что позволяет вести сквозной контроль оптических толщин всех слоев отрезающего фильтра при их осаждении на длине волны λ_ϕ [8].

Такие отрезающие фильтры имеют следующую структуру:

$$Sg_1Ag_2B (AB)^k Ag_2Bg_1AS,$$

где независимые от числа слоев $2k+1$ коэффициенты g_1 и g_2 равны

$$\left. \begin{aligned} \text{при } \lambda_\phi > \lambda_0 \quad g_1 = \lambda_\phi/\lambda_0, \quad g_2 = 0.5, \\ \text{при } \lambda_\phi < \lambda_0 \quad g_1 = \lambda_\phi/\lambda_0, \quad g_2 = g_1 + 0.5. \end{aligned} \right\}$$

При $\lambda_\phi > \lambda_0$ $n_3 = n_A^2/n$, а при $\lambda_\phi < \lambda_0$ $n_3 = n n_A^2/n_B^2$.

В случае коротковолнового отрезающего фильтра осаждение первого g_1A слоя заканчивается при достижении экстремума пропускания света с длиной волны λ_ϕ , осаждение второго и последующих слоев — при достижении заданной величины T_k , соответствующей расчетному пропусканию на выходе системы подложка—двухслойное покрытие g_1Ag_2B —воздух. Осаждение предпоследнего слоя заканчивается при достижении экстремума пропускания, а последнего — пропускания чистой подложки. В случае же длинноволнового отрезающего фильтра осаждение всех слоев, кроме второго и предпоследнего, прекращается

при тех же значениях пропускания, что и для коротковолнового отрезающего фильтра. Осаждение второго слоя прекращается после прохождения экстремума ($g_1 B$) и достижения величины пропускания T_k , осаждение предпоследнего слоя прекращается после прохождения очередного экстремума и достижения последнего экстремума пропускания. Заклеенные стеклянной пластинкой отрезающие фильтры полностью пропускают падающее на них излучение с длиной волны λ_ϕ .

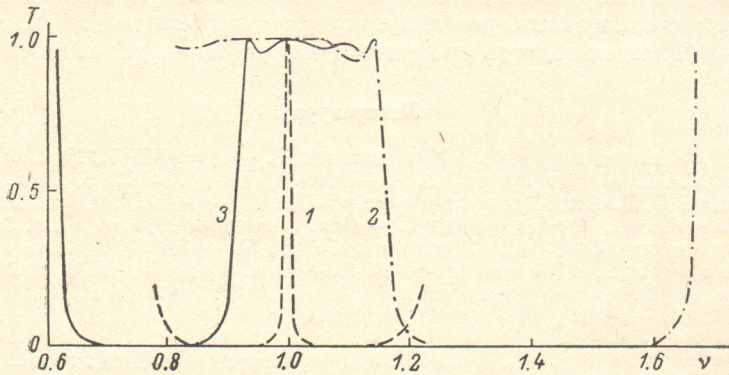


Рис. 1.

Нами были рассчитаны коротковолновые ($g_1 > 1$) и длинноволновые ($g_1 < 1$) отрезающие фильтры, состоящие из слоев сернистого цинка и криолита соответственно с показателями преломления 2.2 и 1.32, осажденных на стеклянные подложки с $n=1.52$ и 1.76. Их параметры приведены в таблице.

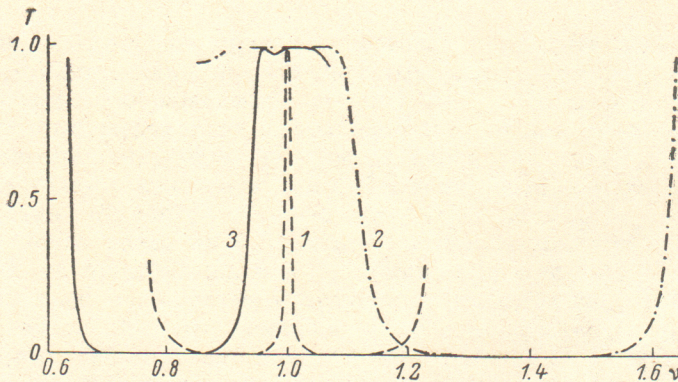


Рис. 2.

На рис. 1 приведены спектральные зависимости пропускания $T(\nu)$ узкополосного фильтра $S(HL)^2H(LH)^4S$ (кривая 1), где H и L — четвертьволновые слои сернистого цинка и криолита, 24-слойного коротковолнового (кривая 2) и 17-слойного длинноволнового (кривая 3) отрезающих фильтров, параметры которых приведены в первой и третьей строках таблицы. У обоих отрезающих фильтров $n_A < n_B$. На рис. 2 приведены аналогичные зависимости $T(\nu)$ для того же узкополосного фильтра (кривая 1) и 17-слойных коротковолнового (кривая 2) и длинноволнового (кривая 3) отрезающих фильтров, параметры ко-

Номер фильтра	n_A	n_B	n	g_1	g_2
1	1.32	2.2	1.52	1.412	0.5
2	2.2	1.32	1.76	1.355	0.5
3	1.32	2.2	1.52	0.776	1.276
4	2.2	1.32	1.76	0.794	1.294
5	2.2	1.32	1.52	0.813	1.313

торых приведены во второй и четвертой строках таблицы. У этих отрезающих фильтров $n_A > n_B$. Кривые $T(\nu)$ отрезающих фильтров для их совмещения с $T(\nu)$ узкополосного фильтра рассчитаны относительно $\nu = \lambda_\phi / \lambda_0 = 1$.

Таким образом, как у коротковолновых, так и у длинноволновых отрезающих фильтров показатель преломления наружных слоев A может быть как больше, так и меньше показателя преломления слоев B . Существенным достоинством предлагаемых фильтров является простота технологии их изготовления и достаточно большая область прозрачности в районе λ_ϕ узкополосного фильтра.

Литература

- [1] Кард П., Несмелов Е., Конюхов Г. — Изв. АН ЭССР, 1968, № 3, с. 384.
- [2] Гисин М. А., Несмелов Е. А. — Опт. и спектр., 1963, т. 14, в. 3, с. 395.
- [3] Храмцова В. И., Шкляревский И. Н. — ЖПС, 1980, т. 32, с. 1104.
- [4] Фурман Ш. А., Столов Е. Г. — Опт. и спектр., 1975, т. 39, в. 3, с. 389.
- [5] Шкляревский И. Н., Храмцова В. И. — ЖПС, 1984, т. 41, с. 321.
- [6] Конюхов Г. П., Несмелов Е. А. — Опт. и спектр., 1973, т. 34, в. 6, с. 976.
- [7] Лупашко Е. А., Овчаренко А. П., Силка А. П., Шкляревский И. Н. — ЖПС, 1984, т. 41, с. 309.

Поступило в Редакцию 18 июня 1985 г.