

СИНТЕЗ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ ОТРЕЗАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

Шкляревский И. Н., Храмова В. И.

В известных отрезающих фильтрах вторичные максимумы отражения в полосе прозрачности подавляются либо целенаправленным изменением оптической толщины, либо одновременным изменением оптической толщины и показателей преломления внешних слоев четвертьволнового многослойного покрытия. Осаждение слоев, оптические толщины которых отличны от четвертьволновых, связано с технологическими трудностями. Кроме того, этим путем можно подавить вторичные максимумы отражения только с одной стороны полосы высокого отражения. Этих недостатков лишены синтезированные нами [1] четвертьволновые многослойные интерференционные отрезающие фильтры.

В [2, 3] были исследованы спектральные зависимости коэффициентов отражения $R(\nu)$ и возникающих при отражении света скачков фазы $\Delta(\nu)$ четвертьволновых $(0.25 \lambda_0)$ многослойных покрытий

$$Sk(HL)HS' \quad (1)$$

в области прозрачности при различных значениях показателей преломления подложки и второй ограничивающей среды. В (1) H и L — четвертьволновые слои с высоким n_H и низким n_L показателем преломления, а S и S' — подложка и вторая ограничивающая среда с показателями преломления n_S и $n_{S'}$. При решении задачи синтеза четвертьволновых отрезающих фильтров мы воспользовались двумя свойствами зависимостей $R(\nu)$ и $\Delta(\nu)$, где $\nu = \lambda_0/\lambda$, вытекающими из этих работ. При $n_S = n_{S'} = \sqrt{n_H n_L}$ коэффициенты отражения вторичных максимумов в полосе прозрачности минимальны, а при $n_S = \sqrt{n_H n_L}$ и $n_{S'} = n_H$ для многослойников с четным числом слоев $N = 2k$ и $n_{S'} = n_L$ для многослойников с нечетным числом слоев $N = 2k + 1$ спектральные зависимости скачков фазы $\Delta(\nu)$ осциллируют около прямой

$$\Delta(\nu) = 0.5\pi\nu \quad (2)$$

(или около прямой, смещенной на π при соответствующем выборе начала отсчета Δ) с минимальными отклонениями от этой прямой.

Рассмотрим многослойник типа (1), у которого показатели преломления $n_S = n_{S'} = \sqrt{n_H n_L}$. Представим его схематически в виде

$$Sk_1(HL)H:L:Hk_1(LH)S \quad (3)$$

при четном числе слоев H и в виде

$$Sk_2(HL):H:Hk_2(LH)S \quad (4)$$

при нечетном числе слоев H , выделив центральные слои L в (3) и H в (4). Поскольку дальнейшие выкладки в обоих случаях аналогичны друг другу, остановимся на первом из них. Обозначим коэффициенты отражения и скачки фазы многослойников

$$Sk_1(HL)H \quad (5)$$

на границе с слоем L через R_1 и Δ_1 . Тогда коэффициент отражения R многослойника (3) в области прозрачности запишется

$$R = 2R_1 [1 - \cos(\pi\nu - 2\Delta_1)]. \quad (6)$$

Величина R будет минимальна там, где либо $R_1 \rightarrow 0$, либо $\cos(\pi\nu - 2\Delta_1) \rightarrow 1$. Последнее возможно, если $2\Delta_1 \simeq \pi\nu$, т. е. отклонение величины осцилляции $\Delta_1(\nu)$ от прямой (2) минимально.

Поскольку у четвертьволновых многослойников в прилегающей к $\nu=2$ спектральной области коэффициенты отражения R_1 вторичных максимумов низки, здесь без особого ущерба величины $\cos(\pi\nu-2\Delta_1)$ в (6) могут значительно отличаться от единицы. В спектральной же области, непосредственно примыкающей к полосе высокого отражения, величины R_1 вторичных максимумов максимальны, поэтому именно здесь следует так изменить $\Delta_1(\nu)$, чтобы $\cos(\pi\nu-2\Delta_1)$ как можно меньше отличался от единицы. Эта цель достигнута в синтезированных [1] многослойных отрезающих фильтрах типа

$$SHL'HL''k(HL)HL''HL'HS, \quad (7)$$

в которых показатели преломления $n_{L'}$ и $n_{L''}$ слоев L' и L'' связаны с показателями преломления n_S , n_H и n_L следующим образом:

$$n_{L'} = n_S = \sqrt{n_H n_L}, \quad n_{L''} = \sqrt{n_S n_L}, \quad (8)$$

а k принимает любые разумные значения, при которых в полосе высокого отражения коэффициент отражения близок к единице.

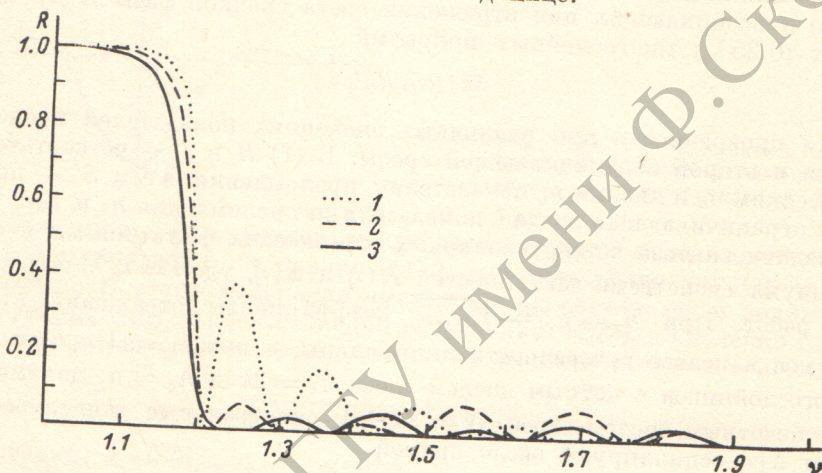


Рис. 1. Спектральная зависимость $R(\nu)$ 15-слойника (7) при $n_{L'} = n_{L''} = 1.32$ (1), $n_{L'} = 1.7$, $n_{L''} = 1.32$ (2) и $n_{L'} = 1.7$, $n_{L''} = 1.5$ (3).

Проиллюстрируем метод синтеза отрезающего фильтра (7) на конкретном примере. Пусть у исходного многослойника (1) $n_H=2.2$, $n_L=1.32$, $n_S=n_{S'}=\sqrt{n_H n_L}=1.7$ и $k=7$. Его спектральная зависимость $R(\nu)$ представлена на рис. 1, кривая 1. Перейдем теперь к многослойнику (5) с $k_1=3$. На рис. 2, а, кривая 1 приведена зависимость $\Delta_1(\nu)$ этого многослойника. Варьируя величину показателя преломления ближайшего к подложке слоя L (кривые 2–4), находим оптимальное значение $n_{L'}=\sqrt{n_H n_L}=1.7$, при котором величина отклонения кривой $\Delta_1(\nu)$ от прямой (2) будет минимальна в той области спектра, где вторичные максимумы исходного 15-слойника (рис. 1, кривая 1) максимальны, что и приводит к подавлению последних.

Спектральная зависимость 15-слойника $SHL'5(HL)HL'HS$ приведена на рис. 1, кривая 2. Как следует из этого рисунка, одновременно с резким уменьшением прилегающих к полосе высокого отражения $R(\nu)$ вторичных максимумов наблюдается некоторое возрастание $R(\nu)$ в районе $\nu=1.5-1.7$. При необходимости это увеличение $R(\nu)$ можно устранить выбором такого значения $n_{L''}$ 7-слойника $SHL'HL''HLH$, при котором $\Delta_1(\nu)$ будет лучше всего соответствовать условию минимизации $R(\nu)$ во всей полосе прозрачности. На рис. 2, б приведены зависимости $\Delta_1(\nu)$, рассчитанные для 7-слойника с $n_{L'}=1.7$ при $n_{L''}=1.32$, 1.5 и 1.7. Оптимальным из них оказался $n_{L''}=\sqrt{n_S n_L}=1.5$.

Зависимость $R(\nu)$ отрезающего четвертьволнового фильтра (7) при $k=3$ и найденных значений $n_{L'}=1.7$ и $n_{L''}=1.5$ приведена на рис. 1, кривая 3. Подав-

ление вторичных максимумов отражения в (1) путем изменения соответствующих показателей преломления при сохранении общего числа слоев приводит к некоторому уменьшению контрастности фильтра (7). Однако она легко восстанавливается, а при необходимости и увеличивается при некотором возрастании числа слоев k .

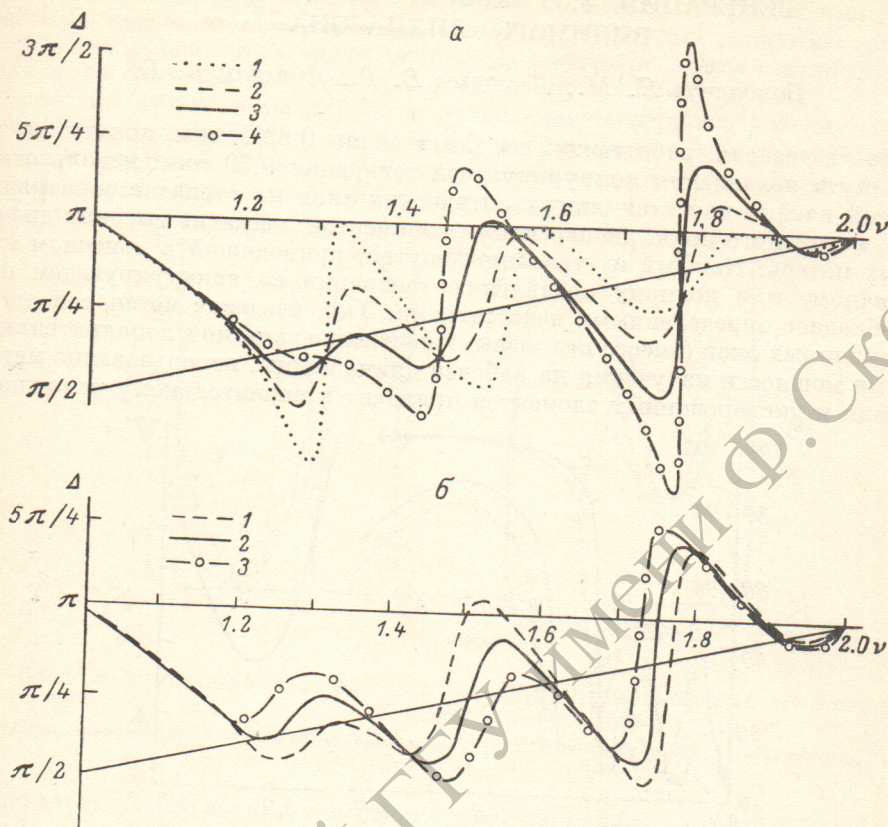


Рис. 2. Спектральные зависимости $\Delta(\nu)$ 7-слойника $SHL'HL''HLH$: а — $n_{L'}=1.32$ (1), 1.5 (2), 1.7 (3), 1.9 (4) и $n_{L''}=1.32$; б — $n_{L'}=1.7$ и $n_{L''}=1.32$ (1), 1.5 (2), 1.7 (3).

Поскольку отрезающий фильтр (7) состоит из четвертьволновых слоев, спектральная зависимость $R(\nu)$ у него симметрична как относительно $\nu=2$, что вдвое увеличивает область прозрачности по сравнению с известными отрезающими фильтрами, так и относительно $\nu=1$, вследствие чего многослойники типа (7) могут служить как коротковолновыми, так и длинноволновыми отрезающими фильтрами.

Проведенные нами такие же расчеты для многослойников с другими значениями n_H и n_L дали аналогичные результаты.

Литература

- [1] Шкляревский И. Н., Храмцова В. И. — А. с. 1 007 066 А (СССР). Опубл. в Б. И., 1983, № 11.
- [2] Шкляревский И. Н., Храмцова В. И., Лупашко Е. А. — Опт. и спектр., 1983, т. 54, в. 3, с. 547.
- [3] Шкляревский И. Н., Храмцова В. И., Лупашко Е. А. — ЖПС, 1983, т. 38, с. 479—484.

Поступило в Редакцию 12 марта 1984 г.