

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНЫХ УЗКОПОЛОСНЫХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

И. Н. Шклярский, Р. И. Умеров, М. А. Гисин
и Э. Д. Ситников

В работе [1] был предложен метод получения диэлектрических зеркал с большой дисперсией фазового скачка. Позже [2] такие зеркала были изготовлены и исследованы. Метод заключается в следующем. На классический многослойник из чередующихся четвертьволновых слоев с высоким (H) и низким (L) значением показателей преломления наносится многослойник из чередующихся четвертьволновых слоев l и h с мало отличающимися друг от друга значениями показателей преломления. Такой многослойник схематически можно записать

$$DN(HL)NM(lh)H, \quad (1)$$

где D — подложка, N и M — соответственно число пар слоев (HL) и (lh). В частности, показатели преломления слоев L и l либо слоев H и h могут быть одинаковыми.

На базе зеркал (1) были изготовлены и исследованы [3] узкополосные интерференционные фильтры для видимой области спектра. В предлагаемой работе описываются аналогичные фильтры для инфракрасной области спектра.

Были изготовлены и исследованы интерференционные фильтры типа

$$DN(HL)M(Hl)2NM(lH)N(LH)V, \quad (2)$$

где D — подложка из стекла $K-8$, V — воздух, а H , L и l — соответственно четвертьволновые слои стибнита, фтористого стронция и сульфида цинка.

Испарение веществ велось из вольфрамовых лодочек в вакууме порядка $2-3 \times 10^{-5}$ мм рт. ст. так, что скорость осаждения составляла $30-40$ Å/сек. Предварительно тщательно очищенные стеклянные подложки диаметром 30 мм располагались в специальном держателе на некотором удалении от его центра. Для получения равномерных по толщине слоев с помощью специального приспособления каждая из подложек совершала планетарное вращение: вокруг центра держателя и вокруг собственной оси со скоростью 65 об./мин. Такое устройство, кроме того, позволяет одновременно изготовить несколько фильтров. Испарители располагались на расстоянии 200 мм от держателя подложек. Между откачивающей системой и камерой помещалась азотная ловушка.

Максимум полосы пропускания изготавливаемых фильтров лежал у $\lambda_0 \approx 2$ мкм. Для контроля толщины слоев был выбран свет с длиной волны $\lambda'_0 \approx 1$ мкм. Контроль осуществлялся фотоэлектрическим методом. Свет от лампочки накаливания проходил через расположенный в вырезе центральной части держателя контрольный образец, интерференционный фильтр с $\lambda'_0 \approx 1$ мкм и попадал затем на приемник излучения. Контрольный образец имел три сектора, на два из которых предварительно осаждался слой стибнита H .

Вначале под луч света подводился чистый сектор контрольного стекла. Этот сектор служил для контроля толщины осаждаемого на подложки слоя стибнита $0.5 H$, оптическая толщина такого слоя равна $\lambda'_0/4$. Затем под луч света подводился сектор со слоем стибнита H . По этому сектору велся контроль толщины остальных слоев фильтра по экстремумам второго порядка для света с длиной волны λ'_0 . В фильтрах, состоящих из большего числа слоев по второму сектору, контролировались только толщины слоев первого зеркала и $1.5 H$ центрального слоя. Толщины остальных слоев фильтра контролировались по третьему сектору.

Оптические характеристики фильтров (интенсивность пропускания света в максимуме $I_{\text{макс}}$ и полуширина полосы пропускания $2\delta\lambda$) измерялись через $20-30$ мин. после изготовления фильтров. Измерение велось на спектрофотометрах СФ-8 с дисперсией 1.5 нм/мм для $\lambda = 2.5$ мкм и МФС-50Л с разрешением ≈ 2.0 нм для инфракрасной области спектра. Диаметр используемого при измерениях пучка света составлял ~ 20 мм.

Для сравнения были изготовлены и исследованы фильтры

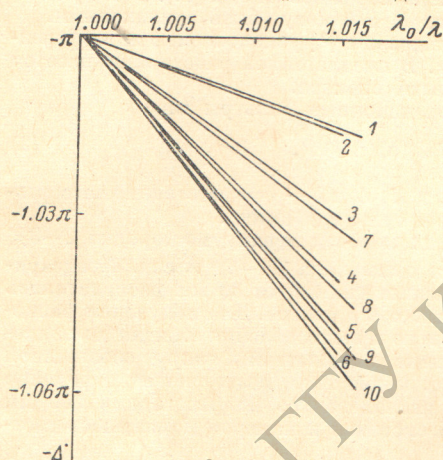
$$DN(HL)2HN(LH)V. \quad (3)$$

Результаты измерений приведены в таблице.

На ЭВМ был произведен расчет полуширины полос пропускания фильтров типа (2) и (3), а также коэффициентов отражения $R_{\text{макс}}$ и дисперсии скачка фазы диэлектрических зеркал этих фильтров. При расчетах взяты следующие значения показателей преломления слоев многослойника: стибнита $n_H = 2.7$ [4], фтористого стронция $n_L = 1.34$ [5] и сульфида цинка $n_l = 2.2$ [6]. Дисперсией показателей преломления этих слоев и погашением света в них мы пренебрегли.

№ фильтра	Тип фильтра	Эксперимент		Расчет	
		$I_{\text{макс.}}, \%$	$2\delta\lambda, \text{Å}$	$2\delta\lambda, \text{Å}$	$R_{\text{макс.}}, \%$
1	D3(HL)2H3(LH)B	61	250	144	96.7
2	D4(HL)2H4(LH)B	12.5	125	66	99.2
3	DHLH ² H ¹ HLHB	88	700	678	70.4
4	DHL2(H ¹)2H2(LH)LHB	90	450	440	79.9
5	DHL3(H ¹)2H3(LH)LHB	76	250	178	86.6
6	DHL4(H ¹)2H4(LH)LHB	68	200	132	91.2
7	D2(HL)H ² H ¹ H ² (LH)B	79	180	111	91.7
8	D2(HL)2(H ¹)2H2(LH)2(LH)B	67	120	89	94.6
9	D2(HL)3(H ¹)2H3(LH)2(LH)B	60	80	58	96.5
10	D2(HL)4(H ¹)2H4(LH)2(LH)B	—	—	46	97.8

На рисунке приведена рассчитанная зависимость Δ (λ_0/λ) для зеркал исследованных фильтров. Скачки фазы рассчитывались для границы стибнит—многослойник. Как и в [1], дисперсия фазового сдвига у зеркал фильтров типа (2) на много больше дисперсии фазового сдвига зеркал фильтров типа (3). Она возрастает у зеркал типа (2) с ростом M — числа пар слоев (HL). Переход от $N=1$ к $N=2$ при постоянном значении M не слишком сказывается на увеличении дисперсии фазового сдвига.



Дисперсия фазового сдвига многослойных зеркал фильтров.

Цифры у кривых соответствуют номерам фильтров в таблице.

Результаты расчетов полуширины полосы пропускания $2\delta\lambda$ фильтров и коэффициентов отражения $R_{\text{макс.}}$ в максимуме отражения зеркал фильтров приведены в той же таблице.

Как следует из таблицы, экспериментально измеренные полуширины полос пропускания больше рассчитанных. Это может быть объяснено некоторой неоднородностью слоев по толщине и наличием погашения света в слоях.

Сравнение фильтров (2) с фильтрами (3) показывает преимущество первых. Так, у фильтра № 9, имеющего такую же величину $I_{\text{макс.}}$ (60%), что и у фильтра № 1, полуширина полосы пропускания в три раза уже. При одной и той же полуширине пропускания у фильтра № 8 величина $I_{\text{макс.}}$ в пять раз больше, чем у фильтра № 2.

Литература

- [1] И. Н. Шклярский, Р. И. Умеров, А. И. Усоскин. Опт. и спектр., 27, 497, 1969.
- [2] И. Н. Шклярский, Р. И. Умеров, Е. А. Лупашко, А. М. Бондарь. Ж. прикл. спектр., 17, 182, 1972.
- [3] И. Н. Шклярский, Р. И. Умеров, Е. А. Лупашко, В. И. Храмцова. Опт. и спектр., 33, 986, 1972.
- [4] А. С. Валеев, М. А. Гисин. Опт. и спектр., 19, 121, 1965.
- [5] М. А. Гисин. Опт. и спектр., 27, 365, 1969.
- [6] P. W. Black, J. Wales. Infrared Phys., 8, 209, 1968.

Поступило в Редакцию 21 ноября 1972 г.