

КОНСТРУКЦИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОДЕЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ ДЛИНЫ ВОЛНЫ $\lambda=10.6$ мкм

Г. В. Пантелеев, А. А. Кострюкова, В. И. Ямпольский и В. Н. Егоров

Приведен расчет конструкций интерференционных светоделителей с регулируемым коэффициентом отражения на длину волны $\lambda=10.6$ мкм, устойчивых к изменению технологических параметров. Результаты расчета проверены экспериментально.

Четвертьволновые конструкции допускают дискретный ряд R . Между ними можно изменять R за счет смещения спектральной кривой (рис. 1, кривая 1). Но ΔR_1 велико в зависимости от малых изменений λ , а так как λ_0 пропорциональна толщине слоев четвертьволновой системы, то значит и коэффициент отражения по полю светоделителя при больших

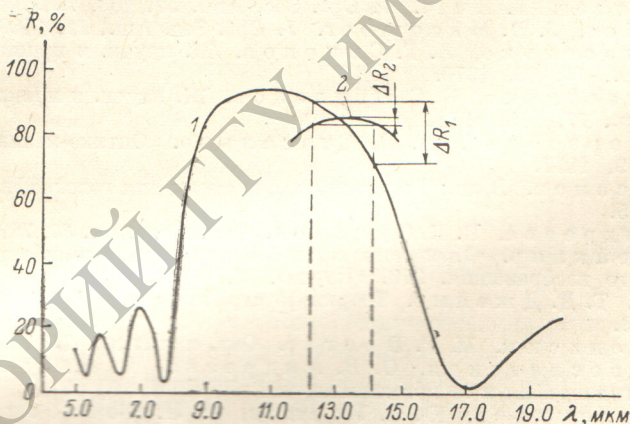


Рис. 1. Спектральные кривые интерференционных зеркал, иллюстрирующие возможность получения зеркала с коэффициентом отражения 85% на длину волны 13 мкм.

1 — получена смещением четвертьволнового зеркала, 2 — получена по методу, предложенному в данной работе.

его габаритах (по сравнению с размерами вакуумной камеры) сильно зависит от равномерности покрытия.

Нами был применен следующий метод конструирования интерференционных светоделителей с требуемым коэффициентом отражения. Используя метод рекуррентных соотношений [1], с помощью ЭВМ были рассчитаны спектральные характеристики конкретных покрытий для случая нормального падения света с изменяющейся толщиной последнего слоя (нумерация слоев начинается от подложки). Далее, максимум кривой отражения перемещался на рабочую длину волны пропорциональным изменением толщин слоев, составляющих интерференционную систему. Расчет велся по показателям преломления веществ на рабочей длине волны, причем слабым ($K \leq 1 \text{ см}^{-1}$) поглощением материалов покрытия и подложки мы пренебрегали. Получаемые таким способом конструкции

светоделителей устойчивы к изменению толщин слоев, составляющих интерференционную систему. Для оценки устойчивости конструкции были рассчитаны значения относительного изменения длины волны $\Delta\lambda/\lambda$, при которых коэффициент отражения отличался бы от максимального не более 2%. Во всех случаях $\Delta\lambda/\lambda > 0.05$. Это озна-

Рис. 2. Зависимость относительных толщин слоев интерференционных покрытий от коэффициента отражения на подложке из хлористого натрия.

1—3 — покрытие сульфида мышьяка и фторида бария соответственно для трех, пяти, семи слоев; 4—6 — покрытие из селенида мышьяка и фторида бария для трех, пяти, семи слоев.

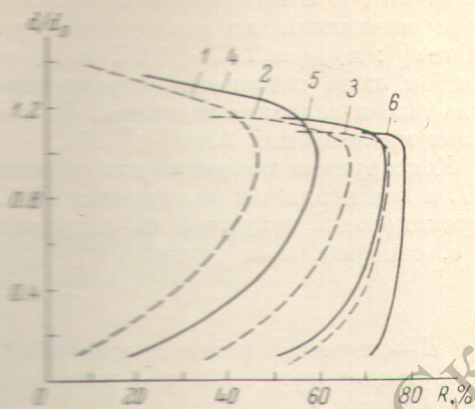


Рис. 3. Зависимость относительных толщин интерференционных покрытий от коэффициента отражения на подложке из германия.

1—3 — покрытие из сульфида мышьяка и фторида бария для двух, четырех и шести слоев соответственно; 4—6 — покрытие из селенида мышьяка и фторида бария для двух, четырех и шести слоев.

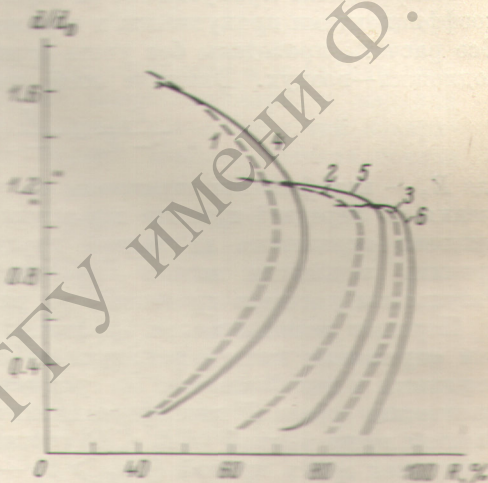
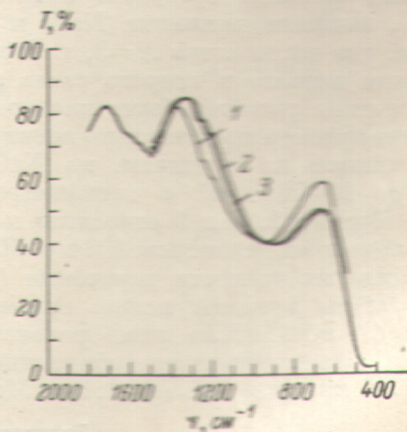


Рис. 4. Экспериментальные спектральные характеристики трехслойного покрытия сульфида мышьяка и фторида бария на подложке из хлористого натрия, диаметром 160 мм.

1 — периферийная область покрытия, соответствующая минимальной толщине покрытия; 2 — центральная область покрытия; 3 — периферийная область на противоположном конце диаметра области 1.



чает, что при одновременном изменении толщин слоев (например, из-за отсутствия соответствующего светофильтра или большой неравномерности покрытия) на $\pm 5\%$ от расчетного по световому полю $\Delta R_s \leq 2\%$. Пример спектральной кривой такого типа приведен на рис. 1, кривая 2.

В качестве материалов подложек в расчете были использованы прозрачные в ИК области спектра хлористый натрий и германий, а в качестве материалов покрытий сульфид или селенид мышьяка (*H*-компонента

с высоким показателем преломления) и фторид бария (L -компонента с низким показателем преломления).

Показатели преломления материалов подложек и фторида бария взяты из [2], а показатели преломления сульфида и селенида мышьяка были вычислены из экспериментальных данных, используя методику работы [3]: $n_{As_2S_3} = 2.32 \pm 0.04$, $n_{As_2Se_3} = 2.64 \pm 0.04$. Была проведена оценка ошибок из-за неточности определения коэффициентов преломления для сульфида и селенида мышьяка. Во всех случаях из-за ошибок в показателях преломления $\Delta R/R \leq 0.02$.

Конструкция покрытий для подложек из хлористого натрия $HLH \dots LH$, а для подложек из германия $LH \dots LH$. Все толщины слоев интерференционных покрытий на рисунках приведены в безразмерном виде, т. е. относительная толщина

$$\frac{d}{d_0} = \frac{4nd}{\lambda_0},$$

где d — геометрическая толщина слоя, d_0 — геометрическая толщина четвертьволнового слоя, n — показатель преломления слоя, λ_0 — рабочая длина волны.

Коэффициент пропускания (и отражения) светоделителя определяется коэффициентами пропускания и отражения на каждой границе подложки. Все расчеты проведены без учета отражения от задней границы раздела подложка—воздух. Влияние этой границы легко учесть по формуле

$$\frac{R_0}{1 - R_0} = \frac{R}{1 - R} + \frac{R_{\text{п}}}{1 - R_{\text{п}}},$$

где R_0 — коэффициент отражения светоделителя, R — коэффициент отражения на передней границе подложки (вместе с покрытием); $R_{\text{п}}$ — коэффициент отражения на задней границе подложки. Влиянием задней границы подложки можно пренебречь, осуществив ее просветление. Результаты расчетов приведены на рис. 2, 3.

Порядок использования графиков: задаемся требуемым коэффициентом отражения интерференционного светоделителя; выбираем материал подложки и вид покрытия; по графикам зависимости $R = f(d/d_0)$ находим количество слоев N интерференционной системы и их толщины, причем нижняя ветвь кривой ($d/d_0 \leq 1$) соответствует толщине последнего слоя, а верхняя ветвь кривой ($d/d_0 \geq 1$) — толщинам всех остальных слоев.

Пример расчета: требуется покрытие с коэффициентом отражения $R = 60\%$, выбрана подложка NaCl и покрытие $\text{As}_2\text{S}_3/\text{BaF}_2$. По рис. 2 находим, что число слоев $N = 3$, толщина последнего слоя $(d/d_0)_3 = 0.64$, а толщины первого и второго слоев $(d/d_0)_1 = (d/d_0)_2 = 1.17$.

Результаты расчетов были проверены экспериментально. На рис. 4 в качестве примера представлены спектральные характеристики покрытия, изготовленного на подложке из NaCl . Нанесение производилось на установке ВА-510 АК с оптимизированным подколпачным устройством [5]. Кривые 1, 2 и 3 относятся к центральной и периферийным областям подложки диаметром 160 мм. Коэффициент пропускания $T = 40\%$, что в пределах точности измерения ($\Delta T = 1\%$) совпадает с расчетным.

Результаты расчетов можно применять и для других длин волн и материалов, необходимо лишь равенство показателей преломления материалов, составляющих интерференционную систему, например на длину волны 1.06 мкм для ZnS ($n = 2.3$) и MgF_2 ($n = 1.4$).

Литература

- [1] Г. В. Розенберг. Оптика тонкослойных покрытий. ГИФМЛ, М., 1958.
- [2] Е. М. Воронкова. Оптические материалы для инфракрасной техники. «Наука», М., 1965.
- [3] И. А. Тимошин, Г. В. Пантелеев. Оптико-механич. промышл., № 5, 65, 1976.
- [4] Г. В. Пантелеев, В. И. Ямпольский, В. Н. Егоров. Оптико-механич. промышл., 1978.

Поступило в Редакцию 25 июля 1977 г.