

Ф. А. КОРОЛЕВ и В. В. СУХАНОВСКИЙ

### ЭТАЛОН ФАБРИ — ПЕРО С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЗЕРКАЛАМИ

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 30 XI 1953)

Введение. Существенным недостатком эталона Фабри — Перо с металлическими зеркалами является поглощение света в металлических слоях, что ведет к уменьшению светосилы прибора (1, 2).

Лучшие металлические пленки имеют обычно поглощение  $A \sim 1-4\%$ . Это поглощение связано с конечной проводимостью металлов, поэтому замена металлических пленок многослойными диэлектрическими покрытиями должна привести к успеху, если только выдержана необходимая точность эффективной отражающей поверхности (3-6).

Ряд авторов (7-12) занимался разработкой теории и методов расчета многослойных систем, однако законченной аналитической теории до сих пор еще не существовало.

Полак (12) для случая  $nd = \lambda_0/4$ , где  $\lambda_0$  — длина волны, получает при нормальном падении плоского фронта линейно-поляризованной световой волны на двухкомпонентное диэлектрическое покрытие из  $m$  пар пленок с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$  следующее выражение для амплитудного коэффициента отражения:

$$r = \frac{\frac{n_0}{n_3} \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^m - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^m}{\frac{n_0}{n_3} \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^m + \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^m}, \quad (1)$$

здесь  $n_0$  и  $n_3$  — показатели преломления бесконечных сред, замыкающих многослойное покрытие.

Легко видеть, что, если абсолютная разность показателей преломления веществ, составляющих покрытие  $|n_1 - n_2|$  достаточно велика, то уже при относительно небольших значениях  $m$  возможно получение коэффициента отражения  $R = r^2$ , близкого к единице.

Итак, высокая абсолютная разность показателей преломления пленок есть первое необходимое условие диэлектрического зеркала.

Перечислим коротко остальные требования к диэлектрикам многослойных покрытий:

- 1) отсутствие поглощения в выбранной области спектра;
- 2) физическая, химическая и механическая устойчивость пленки;
- 3) стабильность свойств пленки со временем.

Оптические свойства многослойных диэлектрических покрытий. Формула (1) для амплитудного коэффициента отражения справедлива не только для  $nd = \lambda_0/4$ , но и вообще для  $nd = s\lambda_0/4$ , где  $s = 1, 3, 5, \dots$

Если спектр отражения (пропускания) многослойного покрытия характеризовать полушириной  $\Delta\lambda$  области максимального отражения

(минимального пропускания) в длинах волн, то можно показать, что

$$\Delta\lambda = f \frac{\lambda_0}{s}, \quad (2)$$

где  $f = f(n_0, n_1, n_2, n_3, m)$  — некоторая функция от показателей преломления и числа пленок.

В частном случае 7-слоеного покрытия с  $n_0 = 1$ ;  $n_1 = 2,3$ ;  $n_2 = 1,35$  и  $n_3 = 1,5$  для  $\lambda = 5800 \text{ \AA}$  получаем следующую зависимость полуширины максимума отражения от величины  $s$ :

$s$	1	3	5	7	9	11
$\Delta\lambda$ в $\text{\AA}$	2840	947	568	406	316	258

В отличие от многослойных фильтров, диэлектрические зеркала эталона Фабри — Перо желательно получить с возможно более широкой полосой отражения, что и определяет выбор  $s = 1$ , т. е.  $nd = \lambda_0/4$ .

Для получения подобных зеркал испарением в вакууме была использована установка, позволяющая контролировать толщину пленки в ходе испарения. В качестве диэлектриков были выбраны сульфид цинка  $\text{ZnS}$  с показателем преломления  $n_1 = 2,3$  и криолит  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  с показателем преломления  $n_2 = 1,35$ .

Упомянутым способом были получены 3-, 5-, 7-, 9- и 11-слойные диэлектрические покрытия для различных областей спектра. На рис. 1 в качестве примера приведены спектральные кривые отражения 7-слоеного диэлектрического зеркала с  $nd = 1450 \text{ \AA}$  (1), 9-слоеного зеркала для  $nd = 1625 \text{ \AA}$

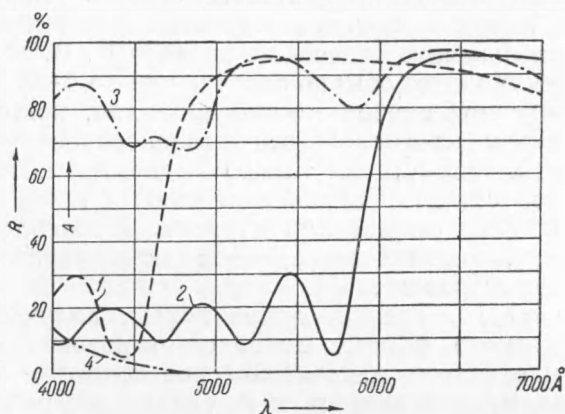


Рис. 1. Спектральные кривые отражения и абсорбции многослойных диэлектрических покрытий

(2) и комбинированного 11-слоеного зеркала для  $n_1d_1 = 1365 \text{ \AA}$  и  $n_2d_2 = 1625 \text{ \AA}$  (3). Там же для 7-слоеного диэлектрического покрытия приведена кривая (4) абсорбции  $A$ , которая становится заметной лишь при  $\lambda \sim 4700 \text{ \AA}$  и сравнительно быстро возрастает в сторону меньших длин волн.

Спектральные кривые 1 и 2 типичны для такого рода зеркал. Они характеризуются широким центральным максимумом, резко обрывающимся в сторону коротких длин волн и плавно спадающим в длинноволновую область, и серией вторичных или побочных максимумов, которые особенно чувствительны к точности нанесения всего покрытия и обладают поэтому плохой повторяемостью. Этим, кстати, и объясняется то разнообразие оттенков, которое особенно заметно в проходящем свете для многослойных  $1/4$ -волновых покрытий, нанесенных, казалось бы, при совершенно одинаковых условиях.

Эталон Фабри — Перо с диэлектрическими зеркалами. Увеличением числа слоев покрытия всегда можно добиться необходимого коэффициента отражения в заданной области спектра. Однако увеличение числа слоев ведет к увеличению количества местных флуктуаций плотности покрытия, каждая из которых действует как рассеивающий центр. Отсюда следует, что задача получения максимального отражения при минимальном числе пленок есть вопрос возможности получения максимального  $R$  при почти нулевом  $A$ , т. е. основной

вопрос целесообразности замены металлических зеркал эталона Фабри — Перо многослойными диэлектрическими покрытиями.

Спектральные характеристики многослойных покрытий, приведенные на рис. 1, показывают, что, во всяком случае, в длинноволновой области спектра, начиная с  $\lambda \sim 5000 \text{ \AA}$ , эта задача может быть с успехом решена.

На рис. 2 представлена микрофотограмма зеленой линии ртути  $\lambda 5461 \text{ \AA}$ , разрешенной эталоном Фабри — Перо с 7-слойными диэлектрическими зеркалами, (1), спектральные характеристики которых приведены на рис. 1, кривые 1 и 4. Кривая 2 рис. 2 представляет микрофотограмму снимка линии  $\lambda 5461 \text{ \AA}$ , разрешенной эталоном с серебряными зеркалами.

При вдвое меньшей экспозиции у эталона Фабри — Перо с диэлектрическими зеркалами почернения значительно больше, чем у эталона с серебряными зеркалами; следовательно, светосила получается в соответствии с теорией примерно в 4 раза больше. Бесспорны также преимущества в контрастности и разрешающей способности.

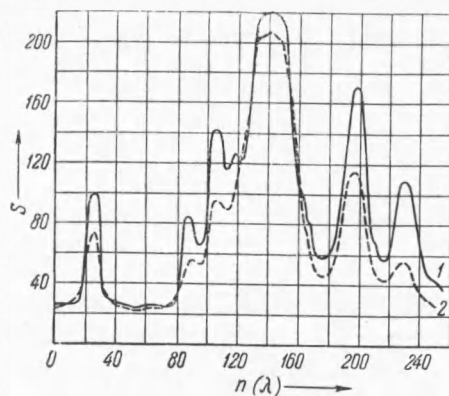


Рис. 2. Микрофотограммы зеленой линии ртути  $\lambda 5461 \text{ \AA}$ . 1 — снимок с эталоном Фабри — Перо с 7-слойными диэлектрическими зеркалами,  $R = 94\%$ ,  $T = 6\%$ , экспозиция  $t \cong 2 \text{ сек.}$ ; 2 — снимок с эталоном Фабри — Перо с серебряными зеркалами,  $R = 92\%$ ,  $T = 4\%$ ,  $A = 4\%$ ; экспозиция  $t \cong 4 \text{ сек.}$  при прочих равных условиях

## Выводы

1. Из всех существующих видов покрытий для зеркал эталона Фабри — Перо лучшими являются  $1/4$ -волновые ( $s = 1$ ) многослойные диэлектрические покрытия.

2. Возможно практическое получение таких покрытий с высоким коэффициентом отражения  $R \sim 0,95$  и более и коэффициентом абсорбции  $A \rightarrow 0$  в видимой и инфракрасной частях спектра.

3. Эталон Фабри — Перо с диэлектрическими зеркалами обладает большей светосилой, чем аналогичный прибор с металлическими зеркалами, и несколько большей разрешающей силой ввиду возможности применения больших  $R$ .

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
4 XI 1953

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Ф. А. Королев, Спектроскопия высокой разрешающей силы, М., 1953.  
<sup>2</sup> С. Dufour, Ann. de Phys., 6, 5 (1951). <sup>3</sup> Н. Kuhn, Reports on Progress in Physics, 14, 64 (1951). <sup>4</sup> Г. В. Розенберг, Усп. физ. наук, 47, в. 1, 30; в. 11, 173 (1952). <sup>5</sup> Р. Jacquinet, С. Dufour, J. de phys. et le radium, 2, 427 (1950).  
<sup>6</sup> С. Dufour, ibid., 11, 353 (1950). <sup>7</sup> К. Schuster, Ann. d. Phys., 4, 352 (1949).  
<sup>8</sup> К. Hammer, Zs. techn. Phys., 24, 169 (1943). <sup>9</sup> А. Turner, J. de phys. et le radium, 2, 444 (1950). <sup>10</sup> Н. Polster, J. Optical Soc. Am., 39, 12, 1038 (1949).  
<sup>11</sup> С. Frau, Revue d'Optique, 31, 4, 161 (1952). <sup>12</sup> Н. Pohlac, Ann. d. Phys., 5, 311 (1950).