

3. Воробьев В. В. Измерители перемещений на основе интерферометров с электрооптическим модулятором.— Автометрия, 1977, № 2, с. 127—130.
4. А. с. № 896392 (СССР). Система регистрации перемещений в оптико-электронных измерительных устройствах с интерференционной модуляцией/В. А. Алешин, М. И. Дубров.— Оpubл. в Б. И., 1982, № 1.
5. Галутин В. З., Зенкевич С. С., Обухов И. В., Скибарко А. П. Стабилизация частоты газового лазера, работающего в двухмодовом режиме.— Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1973, т. 16, № 9, с. 90—93.
6. Brannon P. J. Laser feedback: its effect on Laser frequency.— Appl. Opt., 1976, v. 15, N 5, p. 1119—1120.

Поступило в редакцию 26 октября 1983 г.

УДК 535.36 : 535.81

Н. Д. ГОЛДИНА, Т. Т. ТИМОФЕЕВ

(Новосибирск)

### СРАВНЕНИЕ ИНДИКАТРИС РАССЕЙНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗЕРКАЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ИСПАРЕНИЕМ И КАТОДНЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Развитие лазерной техники в УФ- и видимом диапазонах спектра сталкивается с проблемой создания оптических многослойных покрытий с малыми потерями на рассеяние. Рассеяние возникает вследствие неровностей на поверхности и межслойных границах, внутренних неоднородностей из-за образования кристаллитов, пористой структуры пленок, включения микрочастиц и молекул газа, механических напряжений, ведущих к появлению микротрещин. Характер рассеяния определяется, прежде всего, условиями осаждения и физическими свойствами материалов слоев. Существует два традиционных способа измерения рассеянного излучения — полного рассеяния с помощью интегрирующей сферы и угловой зависимости интенсивности рассеянного света с помощью различных гониометрических устройств. Анализ индикатрис рассеяния позволяет получить информацию о параметрах рассеивающих центров [1—4].

Наличие множества факторов, влияющих на рассеяние, затрудняет точное рассмотрение и приводит к приближенным методам расчета рассеянного поля [5]. Теоретические расчеты [2, 3, 6] хорошо совпадают с экспериментальными данными в области, удаленной от зеркального направления; согласие хуже вблизи зеркального отражения. Как отмечалось в [4], экспериментальные данные различных авторов по измерениям индикатрис рассеяния зеркал отличаются разнообразием, что является следствием различных методов изготовления покрытий, а определение параметров шероховатостей по индикатрисам рассеяния неоднозначно. Не вызывает сомнений, что полая часть индикатрисы обусловлена диффузным рассеянием на мелких неоднородностях, в то время как появление резкого пика вблизи направления зеркального отражения можно объяснить, по-видимому, наличием отдельных крупных дефектов [4].

В настоящей работе проведены предварительные экспериментальные исследования двух типов многослойных зеркал, изготовленных методами электронно-лучевого испарения (ЭЛИ) и катодного реактивного распыления (КР). Схема экспериментальной установки для измерения углового рассеяния показана на рис. 1. Исследуемое зеркало 5 находилось на расстоянии 110 см от аргонового лазера 1 и закреплялось под небольшим углом ( $\sim 0,5^\circ$ ) к падающему лучу. Фотоприемник (ФП) рассеянного излучения 6 отстоял от образца на 37 см и мог поворачиваться вокруг оси,

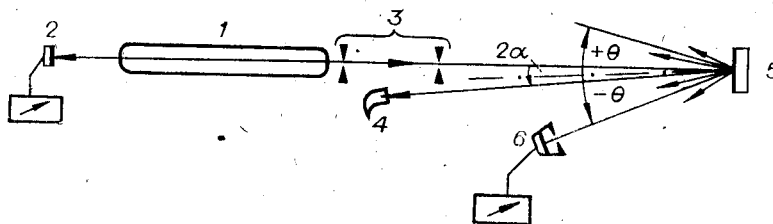


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для измерения индикатрис рассеяния многослойных зеркал:

1 — аргоновый лазер ( $\lambda=0,465-0,515$  мкм); 2 — набор диафрагм; 3 — контроль мощности лазерного излучения; 4 — набор диафрагм; 5 — исследуемое зеркало; 6 — фотоприемник рассеянного излучения.

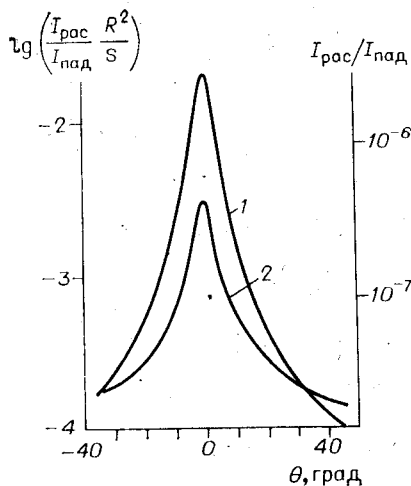


Рис. 2. Индикатрисы рассеяния зеркал: 1 — ЭЛИ-зеркало ( $T = 0,2\%$ ); 2 — КР-зеркало ( $T = 0,2\%$ ); угол падения  $0,3-0,5^\circ$ ;  $R$  — расстояние от зеркала до фотоприемника;  $S$  — площадь фотоприемника.

проходящей через центр рассеивающей области на углы  $\theta = 0^\circ - (\pm 45^\circ)$ , отсчитываемые от нормали к поверхности зеркала. Плоскость, в которой перемещался ФД, смещалась относительно плоскости падения света на угол  $2,5^\circ$  для того, чтобы избежать прямого попадания отраженного света. Телесный угол, вырезаемый ФД, равнялся  $1,5 \times 10^{-4}$  ср. Проверилась линейность ФД в измеряемом диапазоне мощностей и проводилась калибровка ФД для получения абсолютных значений рассеянной мощности. Принимались меры для устранения паразитной засветки, отношение  $I_{\text{темн}}/I_0 \approx 10^{-9}$ .

Подложками для зеркал служили диски из плавленого кварца, обработанные по классу чистоты. Покрытия ЭЛИ- и КР-зеркал в обоих случаях состояли из окислов металлов. Качество покрытий оценивалось методом темнопольной микроскопии при косом освещении лазерным лучом. Наилучшие ЭЛИ- и КР-зеркала давали примерно одинаковую мощность в аргоновом лазере непрерывного действия.

Типичные индикатрисы рассеяния зеркал приведены на рис. 2. Кривые имеют резко выступающий пик вблизи направления зеркального отражения и пологую часть при  $\theta \geq \pm 15^\circ$ . Если слегка изменить угол падения (до  $5^\circ$ ), центр индикатрисы смещается на тот же угол без особых изменений в характере кривой. Представляет интерес область малоуглового рассеяния  $\theta < 10^\circ$  и область перехода к пологой части кривой  $10^\circ < \theta < 30^\circ$ . (В этих областях обнаружено различие в ходе угловой зависимости ЭЛИ- и КР-зеркал.) Как правило, ЭЛИ-зеркала имеют более высокий «зеркальный» пик, высота которого растет в процессе эксплуатации из-за появления крупных дефектов на поверхности зеркала. В рассеяние КР-зеркал в основном вносят вклад мелкие структурные неоднородности, существенно влияющие на диффузную часть индикатрисы. Рассеяние КР-зеркал практически не возрастает при длительной эксплуатации зеркала вследствие хорошо известной устойчивости окисных пленок, полученных методом ионно-плазменного распыления, к различному рода воздействиям. Измерение углового рассеяния является чувствительным диагностическим методом для изучения влияния условий осаждения на качество слоев.

Оценка полного интегрального рассеяния ( $\leq 0,1\%$  для лучших зеркал) по полученным экспериментальным данным показала, что метод катодного распыления металлов в реактивной среде позволяет создавать зеркала, имеющие сравнимые с ЭЛИ-зеркалами и меньшие потери на рассеяние, хотя традиционно считается, что метод КР дает большие потери.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Guenther K. H., Gruber H. L., Pulker H. K. Morphology and light scattering of dielectric multilayer systems.— Thin Solid Films, 1976, v. 34, p. 363—367.
2. Eastman J. M. Scattering by all-dielectric multilayer bandpass filters and mirrors for lasers.— Phys. of Thin Films, 1978, v. 10, p. 167—226.
3. Elson J. M., Rahn J. P., Bennett J. M. Light scattering from multilayer optics: comparison of theory and experiment.— Appl. Opt., 1980, v. 19, N 5, p. 669—679.
4. Петрухин Е. А., Савранский С. А. Исследование индикатрис рассеяния лазерных зеркал.— Опт. и спектр., 1982, т. 53, вып. 6, с. 1070—1074.
5. Рытов С. М., Кравцов Ю. А., Татарский В. И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. II.— М.: Наука, 1978.
6. Elson J. M., Rahn J. P., Bennett J. M. Relation of the total integrated scattering from multilayer-coated optics to angle of incidence, polarization, correlation length, and roughness cross-correlation properties.— Appl. Opt., 1983, v. 22, N 20, p. 3207—3219.

Поступило в редакцию 30 ноября 1984 г.