

Н. Д. Голдина

(Новосибирск)

ЗЕРКАЛА МОЩНЫХ АРГОНОВЫХ ЛАЗЕРОВ УФ-ДИАПАЗОНА

Исследована возможность применения ионно-плазменных покрытий из Ta_2O_5/SiO_2 для зеркал мощных непрерывных ионных аргоновых лазеров УФ-диапазона. Определены коэффициенты поглощения и пороги разрушения диэлектрических зеркал на длине волны 350 нм.

Устойчивость интерференционных покрытий к мощному лазерному излучению зависит от способа изготовления и свойств материалов многослойников. Если для импульсных эксимерных лазеров одним из сдерживающих факторов для дальнейшего повышения их мощности является лучевая прочность покрытий, то для непрерывных аргоновых ионных лазеров с небольшим коэффициентом усиления существенны, помимо этого, и оптические потери зеркал. Наиболее полно в ближнем ультрафиолетовом (УФ) диапазоне исследованы зеркала для высокоэффективных импульсных эксимерных лазеров. По оценкам специалистов, наибольшую лучевую прочность имеют покрытия HfO_2/SiO_2 [1, 2] и HfO_2/MgF_2 [3], изготавливаемые методом электронно-лучевого испарения (ЭЛИ). Имеется лишь несколько работ [4, 5], посвященных применению в УФ-диапазоне оксидных покрытий, полученных ионно-плазменным распылением. Поэтому представляет интерес исследование возможности применения таких покрытий для мощных непрерывных аргоновых лазеров УФ-диапазона.

Исследуемые покрытия изготавливались методом катодного распыления (КР) мишеней (Ta, Zr, Hf, Y, Si) в реактивной среде (смесь аргона с кислородом) [6]. Многослойные интерференционные зеркала из Ta_2O_5/SiO_2 , ZrO_2/SiO_2 , HfO_2/SiO_2 и Y_2O_3/SiO_2 напылялись на кварцевые подложки. Оптимальный режим распыления определялся экспериментально в соответствии с результатами испытаний зеркал в резонаторе аргонового лазера на длине волны 350 нм. Было найдено, что многослойные зеркала Ta_2O_5/SiO_2 увеличивают мощность лазера в 2 раза по сравнению с зеркалами из других материалов.

Оптические свойства лучших образцов зеркал с КР-покрытиями из Ta_2O_5/SiO_2 сравнивались с ЭЛИ-зеркалами из ZrO_2/SiO_2 , изготовленными на стандартной промышленной установке.

Коэффициент поглощения определялся методом лазерной калориметрии по экспериментальной схеме, описанной в [6]. Поверхность термически изолированного зеркала облучалась световым пучком \varnothing 10 мм непрерывного аргонового УФ-лазера мощностью 40 Вт. Образец первоначально находился в тепловом равновесии с окружающей средой, теплоотвод обеспечивался путем свободной конвекции воздуха. Изменение температуры боковой поверхности кварцевой подложки (\varnothing 40 мм, толщина 10 мм) в течение двух минут после включения излучения регистрировалось термопарой хромель-копель, ЭДС которой измерялась цифровым ампервольтметром.

Из решения задачи о динамике роста температуры подложки конечных размеров при поверхностном поглощении излучения [6] следует, что на начальном участке температура возрастает по линейному закону и с хорошим приближением коэффициент поглощения A можно определять из выражения

$$AP_0 = c(d(\Delta T)/dt) \Big|_{t=0}, \quad (1)$$

где P_0 — падающая мощность; c — объемная теплоемкость (для плавленного кварца $c = 1,7 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-3} \cdot \text{К}^{-1}$); ΔT — измеренное изменение температуры.

В таблице указаны значения A , определенные по (1) на основании экспериментальных данных. Видно, что коэффициенты поглощения лучших КР- и ЭЛИ-зеркал равны 0,1 %.

Лучевая прочность измерялась по следующей экспериментальной схеме.

Непрерывный УФ-лазер работал в многомодовом режиме с распределением интенсивности по поперечному сечению светового пучка, близким к гауссову, расходимость которого составляла $1,1 \cdot 10^{-3}$ рад. Для фокусировки излучения использовалась кварцевая линза. Диаметр фокального пятна равнялся 28 ± 3 мкм. При постепенном увеличении мощности УФ-лазера линза слегка сканировалась вдоль оси с целью точной настройки фокуса на поверхность зеркала. Критерием разрушения покрытия служило появление на экране, равномерно освещенном спонтанным излучением от разрядной трубки, хаотических ярких пятен, а на поверхности зеркала — вспышек, искрения.

В таблице приведены величины лучевой прочности W зеркал. Для КР-покрытий наблюдалась хорошая воспроизводимость W в разных точках на поверхности зеркала. Под микроскопом были видны кратеры с ровными оплавленными краями глубиной в несколько микрон и диаметром 100—200 мкм. Лучевая прочность ЭЛИ-покрытий превысила 8,1 МВт/см². Мощности имеющегося УФ-лазера не хватило, чтобы разрушить это покрытие.

Для относительного сравнения порогов разрушения измерялась лучевая прочность подложки из кронового стекла К8 (\varnothing 40 мм, толщина 10 мм), коэффициент пропускания которого на длине волны 350 нм равнялся всего 85 % вследствие начинающегося УФ-поглощения. При $W = 1,5 \text{ МВт/см}^2$ появлялись трещины, при увеличении экспозиции стекло начинало плавиться, образуя глубокое отверстие.

Как и для видимого диапазона, обнаружилось, что при эксплуатации зеркал внутри разрядной трубки лазера лучевая стойкость покрытий не прямо связана с величиной W , измеренной в сфокусированном пучке. Так, замечено, что ЭЛИ-покрытия скорее, чем КР-покрытия, повреждаются и изменяют цвет из-за коротковолнового ультрафиолетового излучения разряда [7].

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что КР-покрытия могут конкурировать с традиционными ЭЛИ-покрытиями в качестве зеркал мощных непрерывных ионных лазеров ближнего УФ-диапазона.

Экспериментальные измерения зеркал с УФ-лазером проводились совместно с С. А. Бабиным. Автор благодарит его за участие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Foltyn S. R., Newnam B. E. Ultraviolet damage resistance of dielectric reflectors under multiple-shot irradiation // IEEE J. Quant. Electron.—1981.—QE-17.—P. 2092.
2. Rainer F., Lowdermilk W. H., Milam D. et al. Materials for optical coatings in the ultraviolet // Appl. Opt.—1985.—24, N 4.—P. 496.
3. Клементов А. Д., Морозов Н. В., Сагитов С. И., Сергеев П. Б. Лучевая прочность поверхности оптических материалов и зеркал для 248 и 193 нм // Квантовая электрон.—1986.—13, № 10.
4. Pawlewicz W. T. Optical coating materials for the ultraviolet selection and characteristics // Proc. SPIE.—1984.—476.—P. 163.

Образцы		A, %	W, МВт/см ²
КР	Плотное	0,117	3,5
	T = 1,5 %	0,107	4,0
ЭЛИ	Плотное	0,094	> 8,1
	T = 2 %	0,089	—
Стекло К8, T = 85 % для 350 нм		—	1,5

5. Pawlewicz W. T., Hays D. D., Martin P. M. High band-gap oxide optical coatings for 0,25 and 1,06 μm fusion lasers // Thin Solid Films.—1980.—73.—P. 169.
6. Голдина Н. Д., Донин В. И., Николаев Г. Н., Тимофеев Т. Т. Зеркала мощных непрерывных аргоновых лазеров // Квантовая электрон.—1987.—14, № 3.
7. Бабин С. А., Голдина Н. Д., Донин В. И. и др. Генерационные характеристики и параметры плазмы сильноточных аргоновых лазеров // Квантовая электрон.—1989.—16, № 11.

Поступило в редакцию 21 декабря 1989 г.

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КООРДИНАТЫ ОПТИЧЕСКОГО ПУЧКА

Описаны принцип работы и результаты испытаний макета нового прибора, позволяющего проводить измерения перемещения центра тяжести оптического пучка относительно акустооптической шкалы прибора с разрешающей способностью порядка единиц микрон. Обсуждаются возможные области применения: измерение угловых флуктуаций оптического пучка, вибраций деталей механизмов, формы объектов, рефракции световых лучей.

Схема устройства для измерения координаты оптического пучка предложена нами в [1]. На рис. 1 изображен один из ее вариантов, испытанный на практике. Основа схемы — акустооптическая шкала, которая представляет собой системы из подложки 1 с возбудителем поверхностной акустической волны (ПАВ) и опорной фазовой дифракционной решетки (ОДР) 2. Установлена ОДР вблизи подложки на расстоянии $l \ll \Lambda^2/\lambda$, период ОДР Λ_p равен длине ПАВ Λ . Оптическая волна (длина волны λ) падает на шкалу, отражается от поверхности подложки, разделяется на дифракционные порядки, а нулевой порядок выделяется и направляется на фотодетектор. Аналогичная оптическая схема описана нами в [2], где она применяется для оптического зондирования ПАВ. В такой схеме радиосигнал, введенный в звукопровод ПАВ через преобразователь, воспроизводится линейно в виде модуляции интенсивности нулевого дифракционного порядка и далее преобразуется в радиосигнал на выходе фотодетектора, причем форма выходного сигнала повторяет форму радиосигнала, введенного в звукопровод, а его групповая задержка зависит от смещения луча вдоль оси x . Такая же закономерность существует и для первых дифракционных порядков, однако уровень сигнала там ниже, чем в нулевом порядке.

В отличие от схемы зондирования ПАВ [2] в рассматриваемом устройстве в звукопровод вводится амплитудно-модулированный сигнал с несущей F_A и гармонической модуляцией частотой F_M (глубина модуляции 90—100 %). Частота модуляции F_M

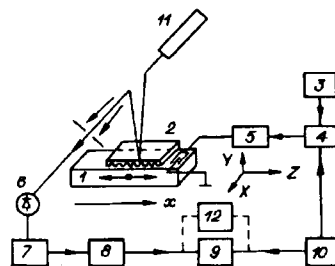


Рис. 1. Блок-схема измерителя:

1 — звукопровод, 2 — опорная решетка, 3 — генератор несущей частоты, 4 — модулятор, 5 — усилитель мощности, 6 — фотодетектор, 7 — измерительный усилитель, 8 — демодулятор, 9 — фазометр, 10 — генератор модулирующей частоты, 11 — источник оптического излучения, 12 — фазовый детектор