

УДК 535.317.1 : 535.411

ПРИМЕНЕНИЕ ГОЛОГРАММНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ИНТЕРФЕРОМЕТРАХ

Л. Т. Мустафина и А. Л. Захаров

В работе рассматривается возможность использования фокусирующих голограммных оптических элементов (ГОЭ) при создании лазерных интерферометров с узким опорным пучком на базе теневых систем. Приводятся параметры ГОЭ и оптическая схема интерферометра, построенного на их основе. Выводятся соотношения, определяющие зависимость периода интерференционных полос настройки от величины взаимного бокового смещения ГОЭ, установленных в осветительной и приемной частях интерферометра, а также зависимость минимального допустимого периода интерференционной полосы настройки от волновых аберраций взаимодействующих волновых фронтов. Приводятся интерферограммы, полученные при различной настройке интерферометра, характеризующие качество оптической системы. В заключение отмечаются преимущества лазерных интерферометров с использованием ГОЭ, состоящие в существенном упрощении схемы и настройки прибора, а также его хорошей виброустойчивости.

Развитие голографии привело к созданию голограммных оптических элементов (ГОЭ), систем и приборов на их основе [1]. В ГОЭ привлекают относительная простота их изготовления, малые габариты и вес, а также возможность одновременного формирования двух и более волновых фронтов заданной кривизны. Указанные достоинства ГОЭ делают возможным их применение в интерферометрии. При построении интерферометров типа Маха—Цендера в качестве светоделителей и зеркал используются ГОЭ, полученные во встречных и попутных параллельных пучках или пучках одинаковой расходимости [2].

В настоящей работе приводятся результаты исследований по применению фокусирующих ГОЭ при создании лазерного интерферометра с узким опорным пучком на основе теневого прибора ИАБ-451. ГОЭ использовались с целью разделения световых пучков на объектный и опорный, формирования заданной расходимости этих пучков и образования интерференционной картины в приемной части прибора. Запись ГОЭ для лазерного интерферометра приводилась при взаимодействии осевого сходящегося пучка с угловой апертурой $U=0.16$ и внеосевого параллельного — диаметром 4 мм, направленного под углом 3° к оси сходящегося пучка. Такие параметры ГОЭ обеспечили хорошее заполнение всей апертуры основных объективов теневого прибора и прохождение узкого опорного пучка по краю поля прибора. Запись ГОЭ осуществлялась на фотопластинках типа ЛОИ-2, обработка в проявителе УП-2 и отбеливателе R-10. При восстановлении таких ГОЭ кроме волновых фронтов первых порядков дифракции восстанавливались волновые фронты высших порядков дифракции, при этом образовывалась дополнительная интерференционная структура, модулирующая основные интерференционные полосы.

Чтобы уменьшить интенсивность волн высших порядков дифракции, были изготовлены рельефно-фазовые копии ГОЭ на слое полиэфирной смолы, нанесенной на клиновидную подложку. Угол клина обеспечивал поворот восстанавливающего узкого лазерного осевого пучка на угол 3° относительно первоначального направления. При построении оптической системы интерферометра ГОЭ устанавливались подложками навстречу пучку в оптически сопряженных плоскостях перед коллимирующим и после фокусирующего объективов теневого прибора, причем центры кривизны восстановленных ГОЭ

сферических волн совмещались с соответствующими фокусами объективов. На рис. 1 приведена оптическая схема интерферометра. Узкий лазерный пучок осевого направления проходит через подложку осветительного ГОЭ 1, осветительный 2 и приемный 4 объективы теневого прибора, наименее возмущенную зону исследуемого объекта 3 и приемный ГОЭ 5. Восстановленный с ГОЭ 1 сходившийся объектный пучок коллимируется объективом 2, просвечивает объект 3

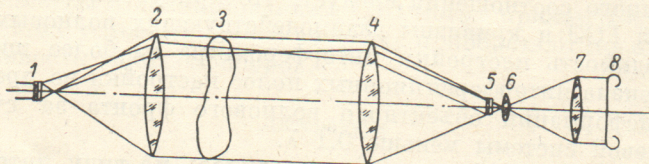


Рис. 1. Оптическая схема лазерного интерферометра.

1, 5 — фокусирующие ГОЭ; 2, 4 — объективы теневого прибора; 3 — исследуемый объект; 6, 7 — объективы регистрирующей системы; 8 — фоторегистратор.

и фокусируется объективом 4. Восстановленный приемным ГОЭ 5 пучок сравнения и объектный пучок преобразуются объективами 6, 7 регистрирующей части, образуя в плоскости регистрации 8, оптически сопряженной с плоскостью объекта и ГОЭ, интерференционную картину. Поворотом осветительного ГОЭ вокруг оптической оси интерферометра изменяется при необходимости положение опорного пучка в исследуемой зоне. Настройка интерференционной картины на полосы конечной ширины осуществляется поперечным сдвигом приемного ГОЭ относительно изображения осветительного ГОЭ, причем направление интерференционных полос настройки перпендикулярно направлению сдвига. Нетрудно показать, что зависимость величины сдвига s от периода интерференционных полос настройки определяется следующим соотношением:

$$s = \frac{\lambda f' d}{De}, \quad (1)$$

где λ — длина волны используемого источника света, f' — фокусное расстоя-

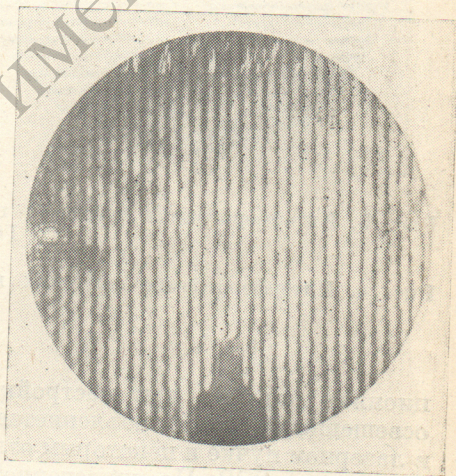


Рис. 2. Интерференционная картина настройки поля прибора.

ние приемного объектива теневого прибора, D , d — световой диаметр объектного пучка в исследуемой зоне и плоскости регистрации интерференционной картины соответственно.

Например, чтобы осуществить настройку интерферометра, созданного на основе прибора ИАБ-451, на полосы с периодом 1 мм в плоскости регистрации интерферограмм при использовании лазера типа ЛГ-38, необходимо произвести поперечный сдвиг на величину 0.12 мм.

Кривизна интерференционных полос настройки в наблюдаемой картине определяется прежде всего абберационным качеством теневого прибора и практически не зависит от дефектов подложек ГОЭ, так как они в одинаковой степени искажают и объектный волновой фронт, и волновой фронт сравнения. Следует иметь в виду, однако, что боковой сдвиг ГОЭ может привести к дополнительному искажению интерференционных полос, если величина сдвига превосходит 0.1 периода интерференционной полосы, характеризующей качество восстановленного с ГОЭ волнового фронта. Примем, что волновая абберация восстановленного с ГОЭ волнового фронта в плоскости регистрации интерферограммы

составляет W . Тогда допустимая ширина интерференционной полосы настройки с учетом соотношения (1) может быть представлена в виде

$$e = \frac{W}{0.1U'},$$

где U' — апертура пучка.

Из полученного соотношения следует, что при увеличении деформации за счет aberrаций ГОЭ и кривизны взаимодействующих волновых фронтов возникает необходимость настройки интерферометра на более широкие полосы. При этом кривизна интерференционных полос настройки не превышает 0.1 периода, если деформации объектного волнового фронта за счет оптических элементов теневой системы меньше 0.1λ .

Оценка качества интерферометра проводилась по виду интерференционной картины при различной настройке прибора. На рис. 2 приведена интерферен-

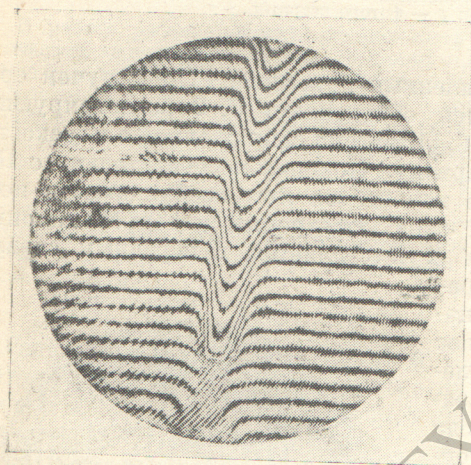


Рис. 3. Интерферограмма тепловых потоков около пламени спиртовки (использовались ГОЭ-оригиналы).

Рис. 4. Интерферограмма тепловых потоков около пламени спиртовки (использовались копии ГОЭ).

ционная картина при настройке на вертикальные полосы. Неравномерная освещенность поля объясняется характером распределения интенсивности в лазерном пучке и некоторым отличием дифракционной эффективности в центре и на краях ГОЭ. На приведенной интерферограмме почти не заметна фоновая интерференционная структура, образованная взаимодействием волн первого и второго порядков дифракции. Этому удалось добиться введением точечной диафрагмы в плоскость фокусировки объектного пучка в приемной части интерферометра. Однако при введении объекта вследствие срезания на диафрагме его пространственных частот одновременно с интерференционной картиной наблюдалась и теневая картина.

При установке в плоскости фокусировки пучка второго порядка дифракции точечного непрозрачного экрана вместо диафрагмы теневая картина наблюдалась только в областях наибольшего градиента показателя преломления. Как указывалось выше, заменой ГОЭ-оригинала рельефно-фазовой копией, в которой интенсивность волн высших порядков дифракции значительно меньше, чем в оригинале, удалось уменьшить влияние фоновой структуры на качество получаемых картин. На рис. 3, 4 представлены интерферограммы тепловых потоков около спиртовки, полученных при использовании ГОЭ-оригиналов (рис. 3) и их копий (рис. 4). Качество последней интерферограммы более высокое. Лучшие результаты могут быть получены, если использовать синтезированные ГОЭ с заданным профилем штриха.

Следует отметить, что при получении интерферограмм прибор был установлен на неамортизированной плите. Интерференционная картина, однако, была постоянной на протяжении всего времени наблюдения.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность использования ГОЭ при создании лазерных интерферометров. Такие приборы будут существенно проще в изготовлении, юстировке и эксплуатации аналогичных приборов, построенных на основе обычной оптики, и практически не будут уступать им по качеству формируемых интерференционных картин. Кроме того, интерферометры с использованием ГОЭ могут применяться как голографические. При этих условиях особое значение приобретают простота настройки и виброустойчивость таких приборов.

Литература

- [1] Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин. Оптическая голография. Мир, М., 1973.
- [2] R. Alferness. Opt. Commun., 12, 152, 1974.

Поступило в Редакцию 11 января 1982 г.