

УДК 535.4 : 543.46

Е. Г. Чурин, А. Г. Седухин

(Новосибирск)

ДИФРАКЦИОННЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР
С СОВМЕЩЕННЫМИ ВЕТВЯМИ

Представлены интерферометр с совмещенными ветвями для исследования прозрачных объектов и оригинальный метод формирования полос заданной конфигурации. В качестве основных элементов использованы модулированные зонные пластинки. Экспериментально реализованы системы круговых, радиальных и прямолинейных полос.

Введение. Оптимальная структура интерференционных полос для исследования фазового объекта определяется его геометрией. Для изучения некоторых объектов иногда целесообразно использовать последовательно несколько систем полос разной конфигурации. Брингдал [1] предложил ряд методов фазовой модуляции опорного пучка в интерферометре с разнесенными ветвями типа Маха — Цендера для получения различных структур интерференционных полос.

В предлагаемой работе описывается метод формирования полос произвольной конфигурации в интерферометрах с совмещенными ветвями. В таких интерферометрах опорный и тестовый пучки не являются пространственно разделенными, а проходят вдоль общей оптической оси. Это делает схему гораздо менее чувствительной к вибрациям и температурным влияниям.

Мерти [2] и Смарт [3] использовали зонные пластинки Френеля (ФЗП) как светоделители в интерферометрах с совмещенными ветвями. В работах [4, 5] описаны модулированные зонные пластинки (МЗП), осуществляющие преобразование амплитуды и фазы пучков со сферическим волновым фронтом.

В предложенном интерферометре ФЗП используется для разделения тестового и опорного пучков, а МЗП — для их объединения и модуляции фазы опорного пучка одновременно.

Интерферометр. Оптическая схема интерферометра показана на рис. 1. Тестовый параллельный пучок проходит последовательно через ФЗП, объект O и МЗП в 0-м порядке дифракции. Пучок, дифрагированный на ФЗП в +1-й порядок, фокусируется на поверхности объекта и используется в качестве опорного, так как макроскопические неоднородности не вносят в него искажения. Далее опорный пучок снова дифрагирует в +1-й порядок на МЗП и совмещается с тестовым пучком. Интерферируя друг с другом, эти два пучка воспроизводят фазовый профиль объекта в системе полос, определяемой фазовой функцией МЗП. Пучки других дифракционных порядков не используются и на рис. 1 не показаны.

Линза L переносит изображение объекта на плоскость I . Нежелательные дифракционные порядки можно удалить с помощью маски M , установленной в фокальной плоскости линзы. Диаметр отверстия должен быть достаточным для пропускания спектров объекта и модулированного по фазе опорного пучка. Компромиссный размер диаметра отверстия в наших экспериментах составлял около 2 мм.

Зонные пластинки. Амплитудные хромовые зонные пластинки изготавливались в натуральном масштабе на круговом лазерном фотопостроителе

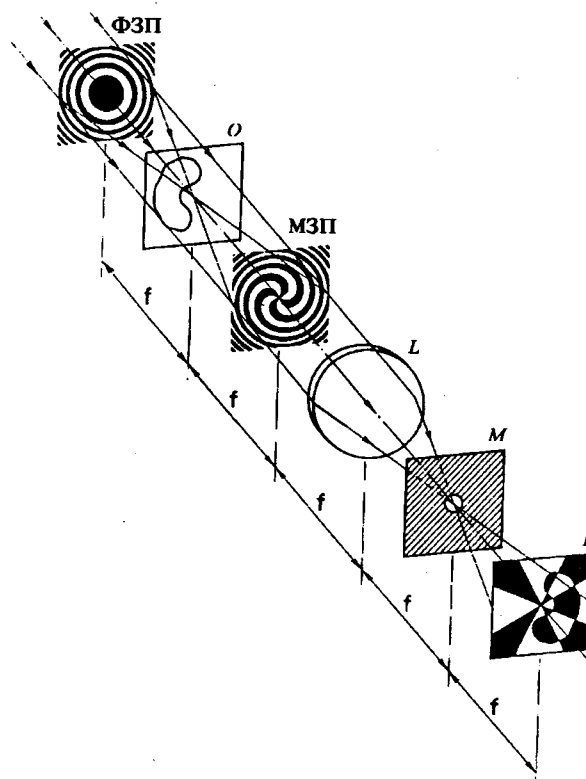


Рис. 1. Оптическая схема интерферометра:

ФЗП — зонная пластинка Френеля, O — фазовый объект, МЗП — модулированная зонная пластинка

[6], работающем в полярных координатах (r, Θ) , методом термохимической записи [7].

ФЗП (рис. 2, a) имеет фазовую функцию, соответствующую сферическому волновому фронту:

$$\Phi_0(r) = -\frac{2\pi}{\lambda} (\sqrt{f^2 + r^2} - f),$$

где λ — длина волны света, f — фокусное расстояние (в нашем случае $\lambda = 633$ нм, $f = 100$ мм).

В целях иллюстрации возможностей предложенного метода мы решили воспроизвести полученные Брингдалом интерферограммы с регулярными круговыми и радиальными полосами. Для этого после дифракции на МЗП сферическая опорная волна должна трансформироваться в коническую (круговые полосы) или в винтовую (радиальные полосы) [1].

Первая МЗП (рис. 2, b) по своей структуре близка к линзакону [8]. Ее фазовая функция соответствует суперпозиции сферического и конического волновых фронтов:

$$\Phi_1(r) = \Phi_0(r) - \frac{2\pi}{\lambda} r \cdot \sin\alpha,$$

где α — угол между оптической осью и нормалью конического фронта.

Фазовая функция второй МЗП (рис. 2, c) соответствует суперпозиции сферического и винтового волновых фронтов:

$$\Phi_2(r, \Theta) = \Phi_0(r) - n\Theta,$$

где n — целое.

Рис. 2. Зонные пластинки:
a – Френеля, *b* и *c* – модулированные

Величины α и n определяют количество полос в поле изображения объекта (в нашем случае $\alpha = 1$ мрад, $n = 32$).

Границы между равноширинными темными и светлыми зонами пластинки с фазовой функцией $\Phi(r, \Theta)$ определялись из уравнений

$$\Phi(r, \Theta) = -k\pi \quad (k = 1, 2, 3, \dots).$$

Экспериментальные результаты. Фазовый сдвиг π на тестовом объекте O (см. рис. 1) был ограничен замкнутой кривой. Фотопленка, расположенная в плоскости I , экспонировалась интерферограммами объекта.

При использовании МЗП с конической фазовой модуляцией (см. рис. 2, *b*) формируется интерферограмма с круговыми периодическими полосами, показанная на рис. 3, *a*. МЗП с винтовой модуляцией (см. рис. 2, *c*) дает интерферограмму с радиальными полосами, изображенную на рис. 3, *b*.

В оптической схеме интерферометра для объединения пучков можно использовать ФЗП вместо МЗП, тогда наблюдаются стандартные типы интерферограмм. Когда фокальные плоскости и оси симметрии обеих

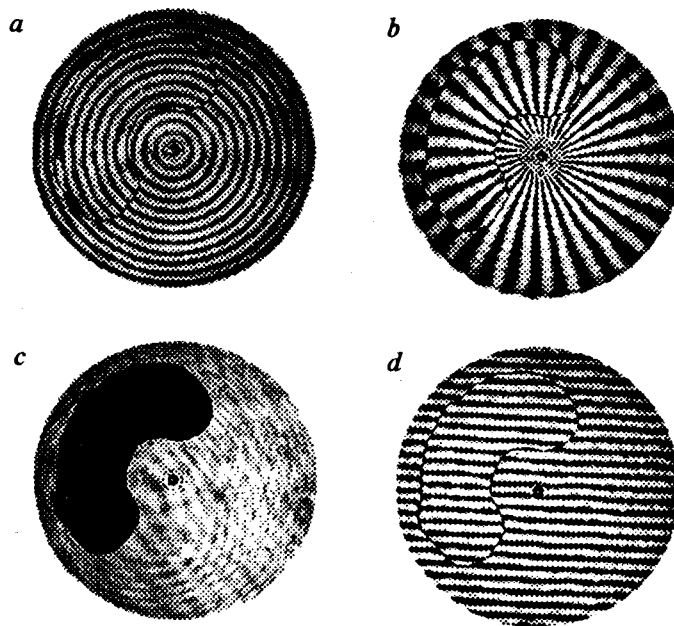
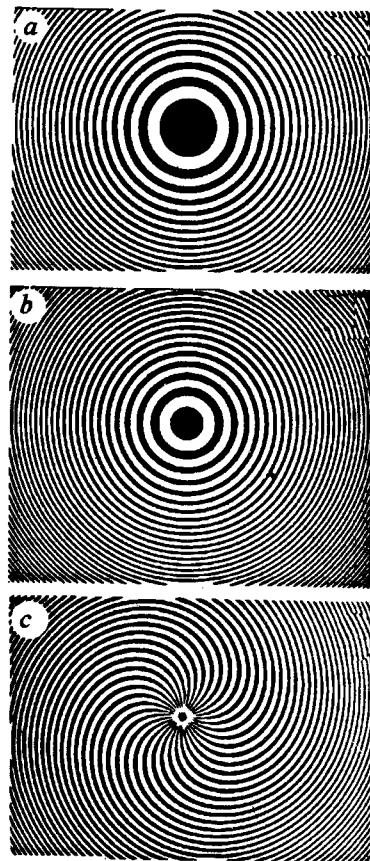


Рис. 3. Интерферограммы объекта в разных системах полос (*a-d*)

ФЗП совпадают, формируется изображение в светлом или темном поле (рис. 3, *d*) с шириной интерференционной полосы, близкой к бесконечности. Эффективность +1-го порядка в 2,5 раза меньше эффективности 0-го. Используя бинарные фазовые решетки с глубиной рельефа, соответствующей равным дифракционным эффективностям 0-го и +1-го порядков, можно получить $k = 1$.

ВЫВОДЫ

Предлагаемый метод предназначен для формирования интерферограмм с произвольной структурой полос в интерферометрах с совмещенными ветвями. Возможности метода продемонстрированы на примерах получения круговых, радиальных и прямолинейных полос. Благодаря простоте оптической схемы, для исследования объекта в разных системах полос достаточно заменять в интерферометре только один элемент (МЗП).

Авторы выражают благодарность В. П. Коронкевичу за полезные обсуждения и А. И. Малышеву за помощь в изготовлении зонных пластинок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bryngdahl O. Radial- and circular-fringe interferograms // JOSA.—1973.—63, N 9.—P. 1098.
2. Murty M. V. R. K. Common path interferometer using Fresnel zone plates // JOSA.—1963.—53.—P. 568.
3. Smartt R. N. Zone plate interferometer // Appl. Opt.—1974.—13, N 5.—P. 1093.
4. Engel A., Herzigert G. Computer-drawn modulated zone plates // Appl. Opt.—1973.—12, N 3.—P. 471.
5. Ichioka Y., Lohmann A. W. Interferometric testing of large optical components with circular computer holograms // Appl. Opt.—1972.—11, N 11.—P. 2597.
6. Koronkevich V. P., Kiriyanov V. P., Kokoulin F. I. et al. Fabrication of kinoform optical elements // Optik.—1984.—67.—S. 257.
7. Коронкевич В. П., Полещук А. Г., Чурин Е. Г., Юрлов Ю. И. Лазерная термохимическая технология синтеза дифракционных оптических элементов на пленках хрома // Квантовая электрон.—1985.—12, № 4.
8. Корольков В. П., Коронкевич В. П., Михальцова И. А. и др. Киноформы: технологии, новые элементы и оптические системы // Автометрия.—1989.—№ 4.

Поступила в редакцию 16 марта 1994 г.