

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНОСЕВЫХ ГОЛОГРАММ ДЛЯ МУЛЬТИПЛИЦИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Г. Н. Буйнов и К. С. Мустафин

Исследована возможность получения качественных мультиплицированных изображений с помощью одноосевых голограмм. Повышение контраста изображений достигнуто применением решетки экранов перед голограммой и диафрагмой соответственно в плоскостях объекта и его изображений. Для повышения поля изображения с высоким разрешением применен метод синхронного сканирования объекта и светочувствительной поверхности, на которой регистрируются мультиплицированные изображения. Приведены результаты проверки эффективности предложенных методов на лабораторном макете прибора.

Имеется ряд работ [1-5], в которых показана принципиальная возможность использования методов голографии для получения идентичных многократных изображений объекта (мультиплицирования изображений).

Голографический метод предусматривает изготовление голограммы, на которой записывается излучение совокупности точечных источников света, относительное расположение которых соответствует желаемому расположению в пространстве многократных изображений. Такая голограмма может быть изготовлена одновременным голографированием совокупности одинаковых когерентных точечных источников [1-4] или последовательным голографированием одного и того же точечного источника [5].

Многократные изображения затем формируются из волнового фронта, восстановленного с голограммы волной, идущей от объекта и промодулированной им по фазе и амплитуде. Во всех указанных работах рассмотрены различные оптические схемы с применением голограммы-мультипликатора, выполненной по двухосевому способу голографирования.

Представляет интерес исследовать возможность использования для этой цели одноосевых голограмм. Использование одноосевых голограмм-мультипликаторов имеет некоторое преимущество, состоящее в том, что для ее записи используется меньший интервал пространственных частот (из-за отсутствия несущей пространственной частоты, определяемой углом голографирования).

Это обстоятельство приводит к более умеренным требованиям к фотоматериалу, на котором регистрируется голограмма, в отношении разрешающей способности, что в конечном итоге ведет к повышению качества голограммы. Кроме того, в случае одноосевых голограмм имеется возможность регистрации точечных источников, расположенных на большей площади. Следует отметить также и то, что aberrации одноосевых голограмм обладают осевой симметрией.

Существенным недостатком одноосевых голограмм является низкое отношение сигнал/шум. Однако это можно устранить принятием специальных мер.

В настоящей работе исследуется возможность применения голограмм-мультипликаторов, полученных одноосевым (габоровским) способом. Рас-

смотрена также возможность увеличения поля максимального разрешения голограммы-мультипликатора.

1. Для получения одноосевой голограммы решетки (5×5) точечных источников света использовалась установка типа интерферометра Цендера—Маха. Источником излучения служил газовый лазер в режиме одной поперечной моды ($\lambda = 632.8$ нм). Решетка точечных источников создавалась линзовым растром из 25 плоско-выпуклых линз, установленном в параллельном пучке лучей. Референтный луч был плоским; соотношение интенсивностей референтного и сигнального лучей $\sim 3 : 1$.

Восстановление полученных голограмм осуществлялось пространственно некогерентным монохроматическим излучением ртутной лампы ($\lambda = 546$ нм) по схеме, представленной на рис. 1. Излучение от освещенного каким-либо способом объекта 1, помещенного в фокальной плоскости объектива 3, преобразовывалось последним в пучок лучей, восстанавливающих голограмму 5. Многократные изображения в фокальной плоскости голограммы регистрировались на фотопластинке 7 или рассматривались с помощью микроскопа. Изображения получались с уменьшением, равным отношению фокусных расстояний объектива 3 и голограммы 5.

Для определения предельной разрешающей способности голограммы-мультипликатора была снята функция рассеяния линии по методике, изложенной в работе [6]. На рис. 2 приведен вид этой функции. Здесь L — длина в мкм, а S — нормированная функция рассеяния. Ширина ее на уровне 0.4 (в соответствии с критерием Релея) составляет ~ 4 мкм. Она определяется

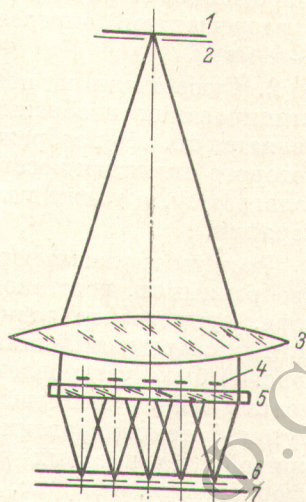


Рис. 1. Оптическая схема размножения изображений.

1 — объект, 2 — диафрагма; 3 — объектив, 4 — набор экранов, 5 — голограмма, 6 — набор диафрагм, 7 — светочувствительная поверхность в фокальной плоскости голограммы.

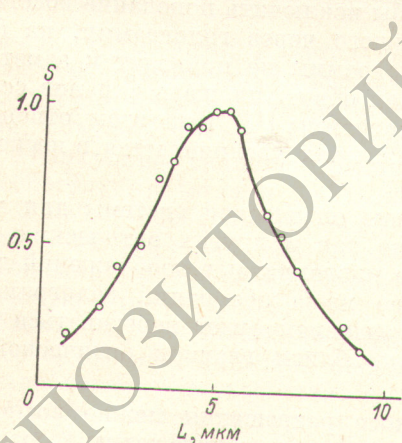


Рис. 2. Функция рассеяния линии одноосевой голограммы-мультипликатора.

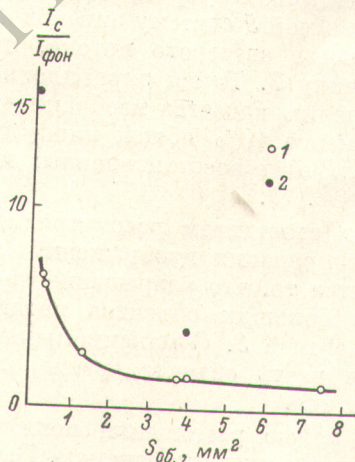


Рис. 3. Кривая зависимости отношения сигнал/фон ($I_c/I_{фон}$) от величины освещаемой площади объекта.

1 — без экранов 4, 2 — при введении экранов 4.

в основном разрешением голограммы, так как разрешение объектива 3 (рис. 1) вблизи главной оптической оси гораздо выше, что было проверено экспериментально.

Предельное разрешение голограммы-мультипликатора определялось также путем снятия одного из размноженных (с уменьшением $4.75\times$) изображений миры № 2 с помощью микрофотонасадки ФМН-3. При этом оказалось, что с контрастом 0.11, соответствующим критерию Релея, разрешались штрихи решеток № 16 (250 лин./мм), что хорошо согласуется с разрешением, определяемым по ширине функции рассеяния линии (~ 4 мкм).

2. Существенным недостатком рассмотренной выше схемы мультиплицирования изображений с использованием одноосевой голограммы является то, что изображение формируется на сильном фоне, источниками которого являются восстанавливающий поток, частично прошедший через голограмму, а также излучение, восстановленное с голограммы в другие порядки.

Расчеты показывают, что отношение сигнал/фон в многократных изображениях, восстановленных с одноосевой голограммы мультипликатора, существенно зависит от величины светящейся площади объекта. Для экспериментальной проверки этой зависимости перед объектом 1 (рис. 1) была установлена диафрагма 2, изменением которой можно было менять открытую площадь объекта. Отношение сигнал/фон определялось путем фотометрирования фотопластинок (с учетом характеристической кривой), на которых регистрировались восстановленные многократные изображения. На рис. 3 приведен график этой зависимости. Из него видно, что отношение сигнал/фон резко увеличивается с уменьшением светящейся площади объекта. Следовательно, контраст восстановленных изображений может быть достаточно большим, если размеры светящейся площади объекта достаточно малы. При этом, чтобы исключить фоновую засветку фотопластинки 7 в промежутках между многократными изображениями, необходимо перед ней поставить решетку диафрагм 6. Очевидно, что диаметр диафрагм 6 d_2 должен удовлетворять соотношению $d_2 \geq f d_1 / F$, где d_1 — максимальный размер светящейся площади объекта 1 (или диафрагмы 2 перед ним) f и F — фокусные расстояния голограммы и объектива 3 соответственно.

Фон можно убрать практически полностью, если поместить перед голограммой 5 систему экранов 4, чтобы исключить попадание восстанавливающего светового потока, прошедшего через голограмму, на фотопластинку 7. Такая экранировка голограммы не приводит к заметному ухудшению качества изображения, если общая площадь экранов составляет менее 10% общей площади голограммы [8]. При этом отношение сигнал/фон в восстановленных изображениях увеличивается в несколько раз (рис. 3).

3. Недостатком рассмотренной выше оптической системы для мультиплицирования изображений (так же как и других оптических схем) является то, что разрешение по полю многократных изображений достаточно больших объектов неодинаково из-за аберраций голограммы 5 и объектива 3. С максимальным разрешением будет передаваться лишь малая часть объекта, расположенная вблизи главной оптической оси объектива.

С целью увеличения поля высокого разрешения можно воспользоваться следующим приемом. Выделим с помощью диафрагмы 2, расположенной на минимально близком расстоянии от объекта 1, его часть, которая находится в области фокуса объектива 3 и передается с достаточно высоким разрешением. Тогда на фотопластинке 7, помещенной в фокальной плоскости голограммы 5, получим многократные изображения части объекта. Если теперь одновременно сканировать объект 1 (в фокальной плоскости объектива) и светочувствительную поверхность (в фокальной плоскости голограммы) таким образом, чтобы вся поверхность объекта прошла перед диафрагмой 2, то на фотопластине 7 можно получить идентичные многократные изображения объекта с одинаково высоким разрешением по всему полю изображения.

Очевидно, что объект и светочувствительная поверхность при сканировании должны перемещаться в противоположных направлениях и скорости перемещения объекта v_1 и светочувствительной поверхности v_2 должны удовлетворять соотношению

$$v_1/v_2 = F/f.$$

Разрешение в многократных изображениях может ограничиваться практически только сферическими aberrациями и апертурой объектива 3 и голограммы 5.

Координаты многократных изображений определяются координатами точечных источников при голографировании. Максимально допустимые размеры изображений определяются только расстоянием между точечными источниками при голографировании. Контраст многократных изображений будет определяться, как указывалось выше, размерами диафрагмы 2 и может быть достаточно высоким при малых размерах ее. Следо-

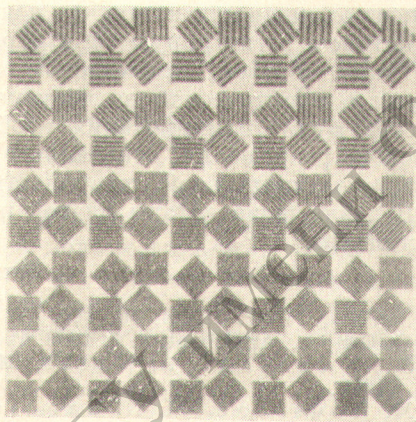
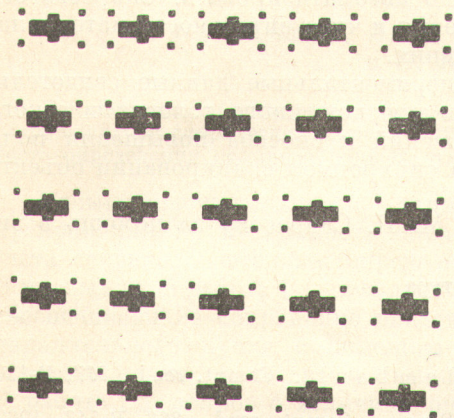


Рис. 4. Многократные изображения макрорешетки, полученные на макете.

Рис. 5. Одно из многократных изображений мира № 5, увеличение $14\times$

вательно, предложенный метод дает возможность получать с высоким контрастом многократные изображения протяженных объектов.

Следует отметить, что в работе [7] для повышения контраста изображения, получаемого с помощью зонной пластинки, применялось аналогичное синхронное сканирование двух щелей, помещенных соответственно в плоскостях предмета и изображения.

4. С целью экспериментальной проверки работоспособности рассмотренной выше методики был собран лабораторный макет установки для размножения изображений черно-белых транспарантов, реализующий оптическую схему рис. 1.

Объект 1 и фотопластинка 7 установлены на столиках из комплекта оптической скамьи, имеющих подвижки в двух взаимно перпендикулярных направлениях, в плоскости, перпендикулярной оптической оси объектива. Столики кинематически связаны между собой с помощью двух рычагов, позволяющих осуществлять синхронное сканирование объекта и фотопластинки в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Отношение плеч рычагов обратно пропорционально отношению фокусных расстояний объектива 3 и голограммы 5. Связь рычагов с опорами осуществляется через специальное приспособление, практически полностью исключая люфт. Сканирование производится поочередно в вертикальном и горизонтальном направлениях: например, в горизонтальном — непрерывно, от края до края объекта, в вертикальном — периодическими подвижками на величину, несколько меньшую высоты диафрагмы 2 (рис. 1). Параметры установки: источник света — ртутная лампа ДРШ-250 с зеленым фильтром из набора для выделения линий ртутного спектра;

фокусное расстояние объектива Z (типа И-37) $F=300$ мм; размеры диафрагмы $2\ 0.49 \times 0.21$ мм²; зазор между плоскостями объектива и диафрагмы ~ 0.2 мм; фокусное расстояние голограммы для $\lambda=546$ нм $f=63$ мм.

Многokратные изображения объектива регистрировались на высоко-разрешающих фотопластинках типа Kodak HR; коэффициент уменьшения $F/f=4.75$.

На рис. 4 представлен снимок многократных изображений микросхемы, полученный на макете. Как видно из этого рисунка, все изображения имеют одинаковую интенсивность и высокий контраст.

Возможности макета с точки зрения разрешающей способности характеризует снимок одного из многократных изображений мира № 5, приведенный на рис. 5. Минимальная толщина разрешаемых линий на рис. 5 около 6 мкм, что удовлетворительно соответствует величине предельного разрешения голограммы. Качество изображений также вполне удовлетворительное.

Процесс сканирования можно легко автоматизировать. Скорость его зависит от мощности источника излучения и чувствительности материала, на котором регистрируются изображения.

Таким образом, приведенные экспериментальные данные свидетельствуют о практической реализуемости предложенного голографического способа мультиплицирования изображений и способа повышения поля высокого разрешения, основанного на синхронном сканировании объекта и светочувствительной поверхности.

В заключение авторы благодарят М. И. Саврасову за помощь в эксперименте.

Литература

- [1] Sun L u. Proc. IEEE, 56, 116, 1968.
- [2] G. Groh. Appl. Optics, 7, 1643, 1968.
- [3] S. Lowenthal, A. Werts, M. Rembault. Compt. rend., 267, B-120, 1969.
- [4] M. Rousseau, M. D. Canals-Frau. Compt. rend., 268, B-543, 1969.
- [5] Н. Г. Власов, Ю. С. Мосякин. Матер. семинара «Репрография, оперативная полиграфия, промышленная фотография». М., 1969.
- [6] Г. Н. Буйнов, А. В. Лукин, К. С. Мустафин, Опт. и спектр., 28, 762, 1970.
- [7] Von H. J. Einighamer. Optik, 13, 390, 1970.
- [8] М. Франсон. Фазово-контрастный и интерференционный микроскопы. ГИФМЛ, М., 1960.

Поступило в Редакцию 5 апреля 1971 г.