

водного слоя в призму полного отражения. Иными словами,  $|R|^2$  в этом случае может достигать больших значений, однако условие волноводного распространения  $R=\infty$  не удовлетворяется. Действительно, соответствующий расчет [7] по формуле (1) дает  $|R|^2=7 \cdot 10^2$ . Очевидно, что уменьшая значение показателя преломления призмы, мы в конце концов реализуем условие  $R=\infty$ . Экспериментально как раз и наблюдается увеличение  $|R|^2$  при уменьшении  $n_{ii}$  [2, 3]. Обратим также внимание на то, что как в экспериментах, так и в теоретических расчетах, большие значения  $|R|^2$  достигаются при малой разности показателей преломления призмы и усиливающей среды (угол падения  $89^\circ$  и более [1, 2, 5]), т. е. в условиях, близких к реализации волноводного распространения. При реализации же такого режима  $|R|^2$  теряет смысл энергетического коэффициента отражения, поскольку, как указывалось выше, граничная задача на отражение и преломление не имеет решения. В этом случае экспериментально будет измеряться усиление света за счет волноводного распространения в инверсной среде, причем сама схема эксперимента должна быть такой, чтобы обеспечивать волноводный режим распространения. При этом будут реализованы оптимальные условия усиления для данной инверсной среды с точки зрения используемого объема инверсной среды и величины интенсивности излучения на выходе.

Автор признателен А. С. Рубанову и Б. А. Сотскому за полезное обсуждение результатов работы.

#### Литература

- [1] Б. Я. Коган, В. М. Волков, С. А. Лебедев. Письма ЖЭТФ, 16, 144, 1972.
- [2] С. А. Лебедев. Автореф. канд. дис., М., 1977.
- [3] С. А. Лебедев, Б. Я. Коган, В. А. Кизель. Тез. II Всес. конф. «Лазеры на основе сложных органических соединений и их применение». Душанбе, 1977.
- [4] Ю. Н. Лукьянов, В. Г. Панькин. Радиотехника и электроника, 24, 913, 1978.
- [5] Н. С. Петров, В. А. Шакин. Сб.: Ковариантные методы в теоретической физике. Оптика и акустика. Минск, 1980.
- [6] Г. Н. Романов, С. С. Шахиджанов. Письма ЖЭТФ, 16, 298, 1972.
- [7] С. А. Лебедев, Б. Я. Коган. Опт. и спектр., 48, 1183, 1980.
- [8] А. М. Гончаренко, В. П. Редько. Введение в интегральную оптику. Наука и техника, Минск, 1975.
- [9] Ф. В. Бункин, В. М. Комиссаров. Акустический ж., 19, 305, 1973.
- [10] В. В. Гудялис, А. С. Юозапавичюс, А. С. Пискарскас. Литовский физ. сб., 18, 395, 1978.
- [11] Е. В. Ивакин, И. П. Петрович, А. С. Рубанов. Сб.: Оптические методы обработки информации. Наука и техника, Минск, 1978.

Поступило в Редакцию 6 января 1982 г.

УДК 535.317.1

### СПЕКЛ-ФОТОГРАФИИ, ОБЛАДАЮЩИЕ СВОЙСТВАМИ РАДУЖНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ ГОЛОГРАММ

Н. Г. Власов и Ю. И. Савилова

Голограммы и спекл-фотографии обладают, как известно, некоторыми сходными свойствами, обусловленными наличием в них несущей пространственной частоты. Так, запись и восстановление изображения является в обоих случаях двухступенчатым процессом, негатив спекл-фотографии, как и голограмма, может быть записан на бинарной или фазовой регистрирующей среде и восстанавливается в ненулевых порядках дифракции позитивное изображение [1]. В настоящем сообщении будет показано, что спекл-фотографиям можно придать фокусирующие свойства, что позволяет в свою очередь придавать им некоторые качества радужных или композиционных голограмм и успешно применять для моделирования процессов записи и восстановления голограмм названного типа.

Поставленная задача решается за счет того, что при записи спекл-фотографий ограничение спектра пространственных частот объектного волнового поля происходит не в одной, как обычно, а в двух плоскостях, расположенных по разные стороны от фокальной плоскости оптической системы. Как пример на рис. 1 приведена схема записи спекл-фотографий, обладающих некоторыми свойствами радужных голограмм. Объект 1, освещенный когерентным лазерным излучением, отображается оптической системой 2 на фотопластинку 3 в масштабе 1 : 1. Непрозрачный экран 4, расположенный ниже оптической оси, содержит горизонтальную щель 5, а ее изображение 5', как и при записи радужной голограммы [2, 3], находится за фотопластинкой 3 на таком расстоянии, на котором впоследствии будут находиться глаза наблюдателя. Другой непрозрачный экран — 6 содержит небольшое круговое отверстие 7, его мнимое изображение 7' имитирует расходящийся опорный пучок.

При освещении полученной спекл-фотографии белым светом помимо изображения объекта восстанавливается, как и в радужной голографии, изображение горизонтальной щели, размывающейся в вертикальном направлении в спектр,

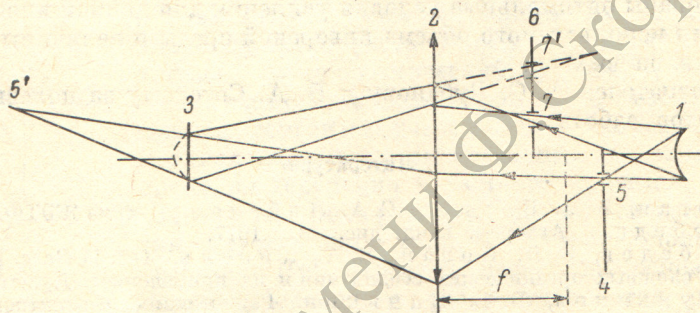


Рис. 1.

что и определяет радужную окраску восстановленного изображения. Очевидно, что восстановленное изображение щели для каждой монохроматической составляющей определяется сверткой изображений щели и кругового отверстия.

Замена кругового отверстия в экране 6 на узкую вертикальную щель позволяет моделировать запись ахроматизованной радужной голограммы [4]. Переход от радужных голограмм к голограммам типа композиционных [5], для которых с помощью спекл-фотографии можно моделировать получение изображений с изменяющейся в вертикальном направлении окраской, достигается просто перенесением непрозрачного экрана 5 в фокальную плоскость оптической системы.

Изложенные принципы получения спекл-фотографий, обладающих фокусирующими свойствами, позволяют, видоизменяя фильтры пространственных частот, моделировать новые, пока отсутствующие типы радужных и композиционных голограмм. Так, в процессе моделирования мы получили спекл-фотографии, являющиеся аналогами голограмм, предназначенных для записи на плоской фотопластинке и восстановления изображений с квазикруговым обзором. Соответствующие им фильтры пространственных частот и их взаимное расположение показаны на рис. 2, а. Круговые отверстия в фильтрах 5 и 6, а также кольцевое отверстие в фильтре 5 располагаются соосно оптической оси. Небольшое круговое отверстие в непрозрачном экране 6 формирует аналог опорного пучка. Кольцевое отверстие выделяет внеосевые направления наблюдения, обеспечивающие квазикруговой обзор, а его изображение формируется на таком же расстоянии, что и щелевая диафрагма на рис. 1.

При восстановлении изображения (рис. 2, б) спекл-фотография располагается горизонтально и освещается снизу расходящимся пучком белого света. Так как спектральное размытие происходит в направлении, перпендикулярном несущей пространственной частоте на голограмме, восстановленное изображение кольцевого отверстия, диаметр которого значительно превышает размеры восстановленного изображения объекта, размывается в часть сферической радуги 3, а угол наклона последней к плоскости голограммы определяется геометрией схемы и дисперсией голограммы. Изображение круговой диафрагмы в свете

каждой монохроматической составляющей строится параллельно голограмме, но наклонными по отношению к ней лучами, что обеспечивает возможность бокового наблюдения восстановленного изображения с разных сторон. Как и в обычных радужных голограммах зрочки глаз наблюдателя вырезают узкий спектральный участок радуги, монохроматизируя тем самым восстановленное изображение. Таким образом, наблюдатель видит изображение в спектрально чистых цветах с квазикруговым углом обзора.

Иллюзия кругового наблюдения усиливается, если восстановленное изображение наблюдается под небольшими углами к плоскости голограммы. Простой расчет показывает, что если при получении спекл-фотографии воспользоваться гелий-кадмиевым лазером ( $\lambda \approx 0.44$  мкм) и оптической системой с относительным отверстием 1 : 1 при двукратном уменьшении, то направление наблюдения восстановленного изображения, окрашенного в красный цвет, составляет  $60^\circ$  с горизонталью, что не обеспечивает достаточно полной иллюзии кругового наблюдения. Эта иллюзия усиливается, если восстанавливать изображение во втором (и более высоком) порядке дифракции, так как оно наблюдается в этом случае под углами, более близкими к горизонтали. Для голограмм сфокусированных изображений, в отличие от других типов голограмм, изображения высших порядков имеют полное сходство с объектом [6] (искажется лишь яркость изображения относительно яркости объекта). Кроме того, наблюдается некоторая расфокусировка деталей объекта, локализуемых вне плоскости голограммы, и величина которой  $\sim \sqrt{\lambda z}$ , где  $z$  — расстояние от голограммы.

В целом рассмотренный метод оказывается удобным для моделирования процессов записи и восстановления радужных голограмм различных типов. Представляется целесообразной разработка метода записи радужных голограмм с квазикруговым обзором, моделирование которых описано в данной работе. По нашему мнению, наиболее простым способом их получения является запись на плоскую голограмму разноразмерных стереофотографий объекта с последующим восстановлением «предэкранного» изображения вблизи поверхности голограммы.

Отметим, что, как и известные схемы записи спекл-фотографий, описанные в настоящем сообщении, отличаются пониженными по сравнению с голографией требованиями к виброзащите установки и когерентности освещающего излучения.

#### Литература

- [1] O. Bringdahl. J. Opt. Soc. Am., 63, 1064, 1973.
- [2] H. Chen, F. T. S. Yu. Opt. Lett., 2, 85, 1978.
- [3] Н. Г. Власов, Р. В. Рябова, С. П. Семенов. Матер. X Всес. школы по голографии, ЛИЯФ, Л., 1978.
- [4] E. N. Leith, H. Chen, J. Roth. Appl. Opt., 17, 3187, 1978.
- [5] Т. Х. Джонг. Тр. XII конгресса УНИАТЕК, М., 1976.
- [6] Г. В. Островская. Матер. IV Всес. школы по голографии, ЛИЯФ, Л., 1973.

Поступило в Редакцию 14 января 1982 г.

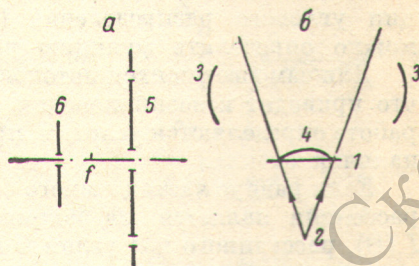


Рис. 2.