

УДК 778.38:535.4

М.А.Карпов (5 курс, каф. ФЭ), Е.А.Пшеная-Северин (асп., каф. ФЭ),
С.Н.Гуляев, ст. преп.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ РАСЩЕПИТЕЛЕЙ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

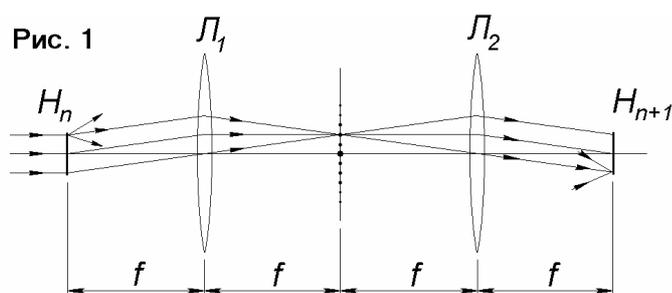
ABSTRACT: The technique of fabricating holographic beam-splitters is described. The results of the experiments are presented.

В представленной работе рассматривается экспериментальная методика получения голографических оптических элементов, дискретно рассеивающих падающий лазерный пучок в некотором телесном угле. Такие элементы – расщепители лазерного пучка (РЛП) – находят применение в таких областях как: формирование профиля интенсивности лазерного пучка, размножение изображений, системы оптической обработки информации, голографическая интерферометрия, волоконно-оптические коммуникационные системы и т.д. Наиболее распространенным способом изготовления подобных элементов является формирование на подходящем прозрачном материале периодической решетки со сложным профилем рельефа, которая при освещении плоской волной дает набор порядков дифракции с примерно одинаковой интенсивностью. Поскольку увеличение числа дифрагируемых волн определяется степенью сложности пространственно-периодических структур (ППС), развитие методов синтеза РЛП в основном было связано с технологией фотолитографии [1]. Однако применение данной технологии накладывает жёсткие требования на точность микромеханического оборудования и допуски фотолитографического процесса [2]. Как следствие этого, удаётся получить большое количество выходных пучков РЛП только для больших периодов ППС ($\geq 400 - 500$ мкм) [3].

С другой стороны, малые периоды структуры легко достигаются голографическими методами. Реализация высокой сложности структуры РЛП может быть достигнута в голографии увеличением количества интерферирующих волн при записи голограммы и использованием нелинейности записывающей среды. В работе [4] рассмотрена теоретическая модель синтеза голографического РЛП методом многократной перезаписи на среде с фазовым откликом. Целью настоящей работы являлось экспериментальная проверка основных закономерностей, полученных при исследованиях теоретической модели [4].

Экспериментальный синтез голографического РЛП включал в себя три этапа:

1. Запись первичной фазовой голограммы H_1 с помощью интерференции двух плоских лазерных пучков. Для получения двумерной ППС производились две экспозиции, между которыми фотопластинка поворачивалась на 90° . Основной период голографических структур составлял 50 мкм, для записи использовался гелий-неоновый лазер с длиной волны излучения $\lambda = 0,63$ мкм и фотопластинки ПФГ-01. Двумерная первичная фазовая структура



изготавливалась путем проявления экспонированной фотопластинки и последующего превращения амплитудной структуры в фазовую с помощью отбеливания.

2. Запись фазовой голограммы второго этапа в двухлинзовой оптической схеме (рис. 1). С этой целью первичная голограмма H_1 помещалась в передней фокальной плоскости линзы L_1 и освещалась нормально падающей плоской волной. Роль линз L_1, L_2 состояла в переносе набора плоских волн, дифрагированных двумерной первичной голограммой, в

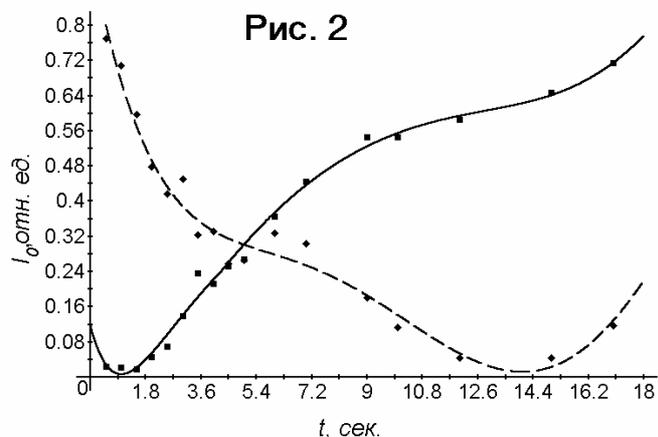


Рис. 2

заднюю фокальную плоскость линзы L_2 , куда помещалась фотопластинка на которую запечатлевалась вторичная голограмма H_2 . В заднюю фокальную плоскость помещался пространственный фильтр, представлявший собой непрозрачный экран с проделанными в нем круглыми отверстиями, соответствующими фокальным пятнам волн разных порядков дифракции голограммы H_1 . Наличие пространственного фильтра в оптической схеме позволяло снизить влияние когерентных шумов при записи вторичной голограммы, а также исключить центральный блок 3×3 порядков дифракции из спектра первичной голограммы.

3. Запись фазовой голограммы третьего этапа в двухлинзовой оптической схеме. Запись голограммы третьего этапа H_3 фактически ничем не отличалась от записи голограммы второго этапа, за исключением того, что в фокальную плоскость линзы L_1 помещалась голограмма H_2 . В схеме использовался пространственный фильтр, аналогичный пространственному фильтру, использованному на втором этапе. Голографические структуры второго и третьего этапа H_2, H_3 представляли собой рельефно-фазовые голограммы, полученные с помощью обработки коротковолновым УФ-излучением [5].

Основная идея описанного метода голографической записи состоит в том, что количество волн, восстановленных голограммой при реконструкции нормально падающей плоской волной, существенно больше, чем количество волн, участвующих в записи голограммы. Это положение справедливо даже для тонких амплитудных голограмм, записанных в линейном режиме. Тем более оно выполняется для фазовых голографических структур, имеющих, как известно, богатый дифракционный спектр. Отсюда, многократное повторение процесса голографической записи позволяет существенно расширить дифракционный спектр РЛП. Процесс голографической перезаписи теоретически можно было бы продолжать до бесконечности, однако реально количество этапов перезаписи (в данном случае 3) ограничивается накоплением шумов и фазовых искажений, что приводит к ухудшению пространственной периодичности структуры. Блокирование центральных порядков дифракции на этапах перезаписи связано с дополнительными возможностями по расширению дифракционного спектра РЛП и улучшению его равномерности (см. [4]).

Вначале эксперимент был проведён вплоть до второго этапа (были получены голограммы H_2). Данные исследования показали, что контраст изображения интерференционной картины, запечатлённой на голограмме H_2 , оказался очень слабым. Причины этого лежали, во-первых, в использовании малоактивного амидолового проявителя; во-вторых, в большом количестве бокового рассеянного освещения (из корпуса лазера), что привело к паразитной засветке голограммы; и, в-третьих, в наличии тепловых потоков, исходивших от блока питания лазера, что вызывало размытие интерференционной картины. Эти недостатки были устранены во время проведения третьего этапа

Рис. 3

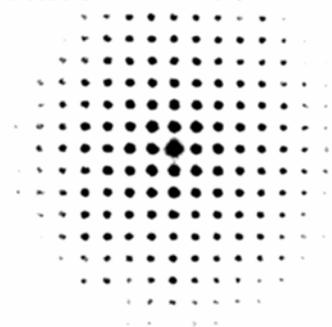
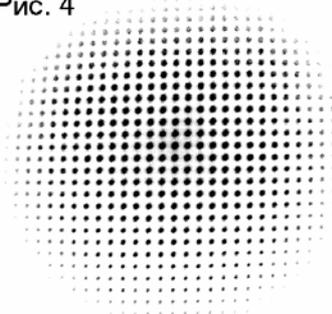


Рис. 4



записи использованием более контрастного проявителя УП-2М, конструированием специального непрозрачного экрана, защищавшего область линзы L_2 и записываемую голограмму от паразитной засветки, и выносом блока питания в другое помещение. Анализ полученных голограмм третьего этапа (H_3) показал значительное повышение контрастности изображения интерференционной картины. Описанные выше усовершенствования экспериментальной методики позволили нам получить голограммы второго этапа (H_2) с улучшенными характеристиками, результаты исследований которых мы предоставляем здесь.

Рис. 2 иллюстрирует зависимость интенсивности нулевого порядка I_0 для рельефно-фазовых голограмм H_2 от времени экспозиции когерентным светом t . Пунктирная кривая соответствует амидоловому проявителю, сплошная – проявителю УП-2М. Из рисунка видно благотворное влияние

применения более контрастного проявителя – чувствительность записывающей среды сильно увеличивается, величина I_0 опускается с 0,044 до значения 0,018, сравнимого с интенсивностью ближайших боковых порядков. Еще более резкое различие наблюдается между дифракционными спектрами, снятыми с помощью цифровой камеры и изображенными на рис. 3 (амидоловый проявитель) и рис. 4 (проявитель УП-2М). Применение более контрастного проявителя приводит к сильному расширению спектра, т.е. увеличению количества порядков дифракции. Кроме того, следует отметить сглаженный характер полученных спектров. Это объясняется тем, что полученные в эксперименте голографические структуры H_2 сохраняют пространственную периодичность на расстояниях 20-30 периодов, что соответствует большому количеству реализаций метода "случайной фазы" – 1000 [4].

В целом полученные экспериментальные результаты показали хорошее соответствие с результатами численного моделирования [4].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Damman H., Gortler K., "High-efficiency in-line multiply imaging by means of multiply phase holograms". // *Opt. Commun.* **3**, 312-315 (1971).
2. Ehbets P., Rossi M., Herzig H. P., "Continuous-relief fan-out elements with optimized fabrication tolerances". // *Opt. Engin.* **34** (12), 3456-3464 (1995).
3. Prongue D., Herzig H. P., Dandliker R., Gale M. T., "Optimized kinoform structures for highly efficient fan-out elements". // *Appl. Opt.* **31** (26), 5706-5711 (1992).
4. Pshenay-Severin E. A., Gulyaev S. N. "Holographic fan-out elements synthesized by the repeated recording process"// in International Workshop on Nondestructive Testing and Computer Simulation in Science and Engineering, Proceedings of SPAS, Vol. 7, - pp. D2 – D6. (2003).

5. Гуляев С. Н., Ратушный В. П. Свойства рельефно-фазовых голограмм, полученных при обработке фотопластинок коротковолновым ультрафиолетовым излучением и двухступенчатом отбеливании. // Оптический журнал, 2003. Т. 70, № 2, стр. 45-49.