

07;12

Характеристики восстановленного изображения при мультиплексировании осевых голограмм

© Н.М. Ганжерли, И.А. Маурер, Д.Ф. Черных

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Поступило в Редакцию 16 апреля 2001 г.)

Проведен сравнительный анализ результатов эксперимента по записи и мультиплексированию голограмм по осевой схеме, в том числе спекл-голограмм. Сравнивались контраст и сигнал/шум в восстановленном изображении. Экспериментально подтверждено влияние толщины регистрирующего материала на качество восстановленного изображения при записи нитевидных голограмм.

Ранее нами описывались результаты экспериментов по записи и мультиплексированию осевых голограмм, в том числе сдвиговых спекл-голограмм [1–4]. В настоящей работе приведены результаты сравнительных экспериментов по оценке качества восстановленного изображения для такого типа мультиплексирования. Для сравнения качества восстановленного изображения мы использовали контраст изображения и отношение сигнал/шум. Запись и мультиплексирование осевых голограмм осуществлялись как по схеме на рис. 1, *a*, так и по схеме на рис. 1, *b* для случая регистрации сдвиговых спекл-голограмм.

При регистрации голограмм по осевой схеме на рис. 1, *a* в качестве объекта использовались полупрозрачные объекты-транспаранты, представляющие собой различное число концентрических прозрачных колец одной ширины на непрозрачном фоне, вписанных в заданный фиксированный диаметр и окруженных одним прозрачным кольцом, являющимся референтным пучком.

Метод регистрации осевых голограмм (рис. 1, *a*) был предложен Ю.Н. Денисюком для регистрации и мультиплексирования голограмм в объемных средах [1]. Такие голограммы в силу особенностей распределения интенсивности света вблизи фокуса линзы формируются в виде тонкой нити, расположенной вдоль оси схемы и симметричной не только относительно этой оси, но и относительно фокальной плоскости. Длина этой нити для каждого из колец транспаранта пропорциональна длине волны и квадрату отношения фокусного расстояния линзы к радиусу кольца. Поэтому существенным для регистрации осевых голограмм является протяженность регистрирующей среды вдоль оптической оси.

Плотность мультиплексной записи голограмм определяется в первую очередь размерами голограмм. В нашем случае голограмма, регистрируемая в фокальной плоскости линзы, образуется в результате интерференции фурье-спектра внешнего (опорного) кольца и фурье-спектра объекта, представляющего собой систему прозрачных концентрических колец. Размер голограммы как в фокальной плоскости, так и вдоль оптической оси будет определяться размерами перекрывающихся областей

спектра, в которых величина интенсивности света будет достаточной для регистрации при данной экспозиции.

Рассмотрим фурье-спектр в фокальной плоскости линзы L_2 (рис. 1, *a*) на конкретном примере объекта-транспаранта, состоящего из шести прозрачных колец шириной 1 мм с внутренними диаметрами 45, 40, 35, 30, 25 и 20 мм и окруженного референтным прозрачным кольцом шириной 1 мм с внутренним диаметром 55 мм. На рис. 2, *a* и *c* представлены полученные на компьютере радиальные распределения интенсивности в фурье-спектрах опорного кольца и объекта соответственно. Видно, что области спектра совпадают, но опорный сиг-

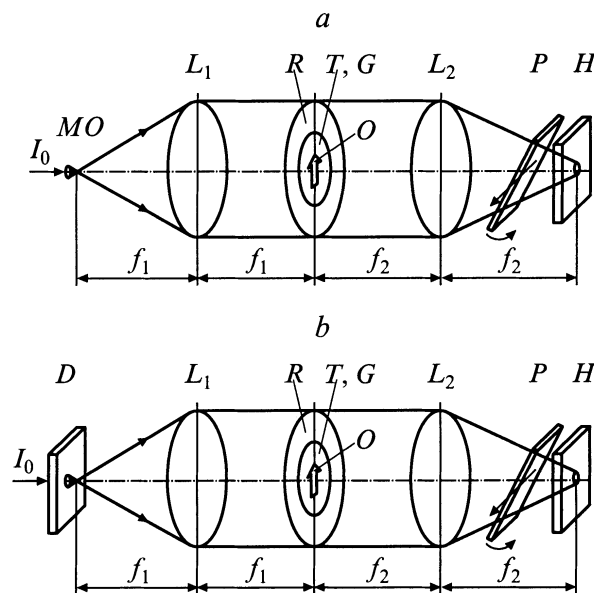


Рис. 1. Осевая схема записи и реконструкции трехмерных голограмм (*a*) и сдвиговых спекл-голограмм (*b*): I_0 — луч лазера; MO — микрообъектив; D — диффузор; L_1, L_2 — линзы; T — транспарант с изображением объекта O ; G — маска, которая на стадии восстановления блокирует свет на участке, занятом транспарантом T ; R — часть светового потока в виде кольца, выполняющая роль референтного пучка; P — вращающаяся плоскопараллельная пластинка; H — светочувствительный материал.

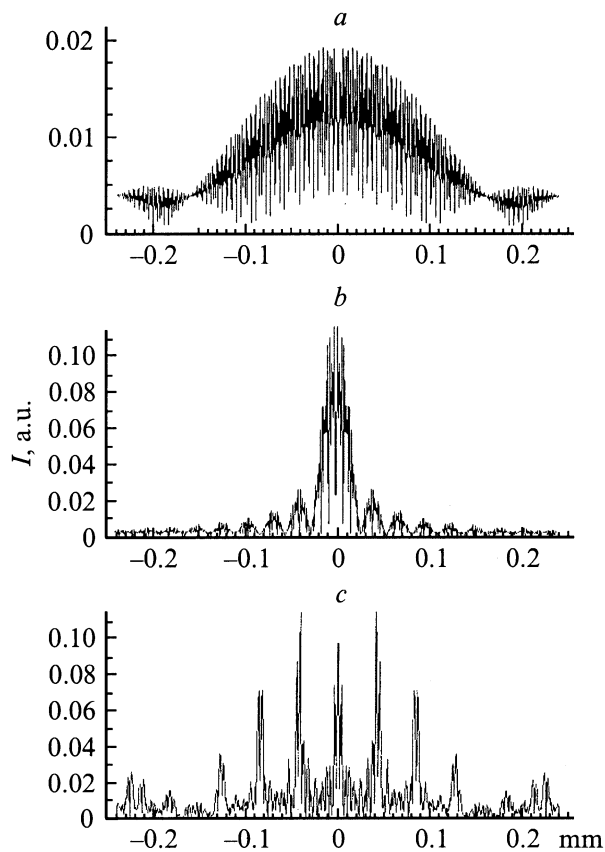


Рис. 2. Фурье-спектры референтного кольца шириной 1 (a) и 10 mm (b) и объекта, состоящего из 6 колец равной ширины (c).

нал имеет в 5 раз меньшую интенсивность. При расчете величина интенсивности света, освещающего транспарант, принималась равной 1. Поэтому для достижения наивысшего контраста регистрируемой интерференционной картины интенсивности спектров необходимо выравнивать. Увеличение интенсивности опорного пучка за счет увеличения ширины опорного кольца приводит к сужению центрального максимума интенсивности спектра опорного кольца (рис. 2, b) и к уменьшению зоны перекрытия. В эксперименте мы ослабляли интенсивность объектного пучка фильтром.

В качестве регистрирующей среды использовались фотопластинки для голографии ПФГ-03М, требующие после экспозиции фотохимической обработки, а также ряд сред, работающих в реальном времени, т.е. не требующих дополнительной обработки после экспозиции, а именно кристаллы ниобата лития и слои самопроявляющегося, содержащего глицерин бихромированного желатина [5].

Восстановленное изображение с помощью телевизионной камеры на основе ПЗС матрицы (795×596 элементов) передавалось на компьютер, где оно обчитывалось. Предварительная обработка изображения с целью повышения контраста или уменьшения шума не производилась.

Сравнительные эксперименты по записи одного и того же объекта в средах различной толщины показали улучшение характеристик восстановленного изображения с ростом толщины регистрирующей среды. Восстановленные изображения наивысшего контраста (0.48) и малошумленные (среднее отношение сигнал/шум 8.3) были получены при регистрации объектов в кристаллах ниобата лития толщиной 1.31 mm. Более низкий контраст (0.38) и более высокий уровень шума в восстановленном изображении (отношение сигнал/шум 6.3) наблюдался при записи в слоях самопроявляющегося, содержащего глицерин бихромированного желатина (толщина слоя порядка 240 μm). При регистрации голограмм на голографических фотопластинках ПФГ-03М с толщиной эмульсионного слоя порядка 7 μm восстановленные изображения имели самый высокий уровень шума (отношение сигнал/шум 5.3), самый низкий контраст (0.25), но удовлетворительно одинаковое качество восстановленного изображения по всей его площади. Различное качество восстановленного изображения по площади в случае регистрации голограмм на кристалле ниобата лития и на слоях бихромированного желатина обусловлено неоднородностью свойств материала по объему.

При записи голограмм на фотопластинках ПФГ-03М регистрировались объекты, содержащие различное число прозрачных концентрических колец одной ширины, вписанных в заданный диаметр. Объект содержал от 3 до 11 прозрачных колец. Увеличение числа колец

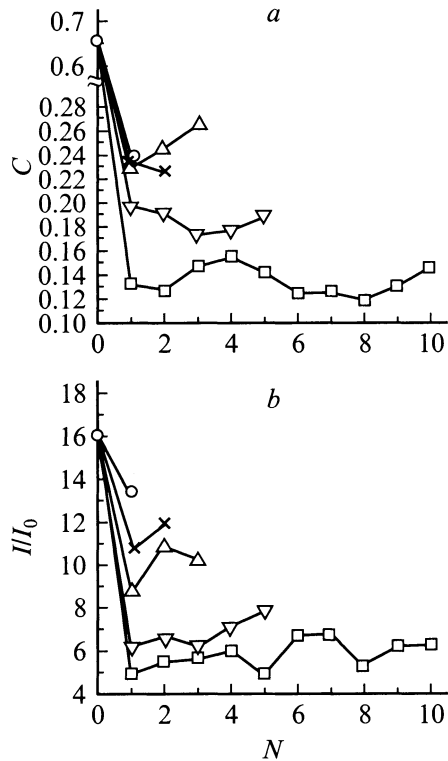


Рис. 3. Характеристики мультиплексированных изображений в зависимости от кратности мультиплексирования: контраст (a) и отношение сигнал/шум (b).

в объекте приводит к ухудшению разрешения колец в восстановленном изображении, снижению контраста и увеличению шума.

При исследовании мультиплексирования сдвиговых спекл-голограмм, зарегистрированных по осевой схеме (рис. 1, *b*), наибольшая кратность мультиплексирования была получена при регистрации голограмм на самопроявляющемся биохромированном желатине. При относительном сдвиге светочувствительного материала на несколько микрон с помощью плоскопараллельной пластинки *P*, введенной в объектный и опорный пучки, осуществлялась регистрация голограммы каждого следующего объекта. Запись голограмм в среде, работающей в реальном времени, позволила визуально подбирать время экспонирования для каждой последующей голограммы. Общее число зарегистрированных голограмм было от 12 до 15 голограмм в зависимости от толщины слоя и экспозиции первой голограммы. Каждое последующее восстановленное изображение характеризовалось более высоким уровнем шума и уменьшением контраста.

На фотопластинках для голографии ПФГ-03М удалось записать лишь 10 голограмм. Существенным недостатком материала является то, что он требует фотохимической фиксации зарегистрированной информации, сопровождающейся усадкой эмульсии, что приводит к ухудшению восстановленного изображения. Кроме того, достаточно трудно было подбирать время экспонирования каждой последующей голограммы, чтобы эффективно использовать динамический диапазон фотоматериала. На рис. 3 представлены сравнительные характеристики восстановленных изображений при мультиплексировании сдвиговых спекл-голограмм. Рис. 3, *a* иллюстрирует зависимость контраста в восстановленном изображении при изменении кратности мультиплексирования спекл-голограмм от 1 до 10, а рис. 3, *b* дает изменение отношения сигнал/шум для тех же серий мультиплексирования.

Авторы выражают благодарность Гранскому П.В. за помощь в обработке восстановленных изображений на ЭВМ и Монаховой М.В., осуществлявшей полив слоев самопроявляющегося, содержащего глицерин биохромированного желатина.

Работа выполнена при поддержке Научной школы (грант РФФИ № 00-15-96771) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 99-02-18481).

Список литературы

- [1] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Опт. и спектр. 1999. Т. 86. Вып. 6. С. 1023–1028.
- [2] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Материалы Второй Байкальской школы по фундаментальной физике. Иркутск: ИГУ, ИСЗФ СО РАН, ИФ ИЛТ СО РАН, 1999. Т. 1. С. 55–65.
- [3] Denisyuk Yu.N., Ganzherli N.M., Konop S.P. et al. // Proc. SPIE. 2000. Vol. 3956. P. 326–335.

[4] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Черных Д.Ф. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. Вып. 9. С. 25–30.

[5] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. Вып. 5. С. 64–69.