

07;12

Эффект концентрации света с помощью спекл-экрана на основе безопорной объемной голограммы

© Н.М. Ганжерли, Ю.Н. Денисюк, А.П. Сердобинцева, Д.Ф. Черных

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: nina@holo.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 6 января 2006 г.

Экспериментально продемонстрирована способность спекл-экрана на основе безопорной объемной голограммы концентрировать свет в зону видения. Голографические спекл-экраны, предназначенные для проекции изображений, зарегистрированы в объемном светочувствительном материале на основе содержащего глицерин бихромированного желатина. При регистрации экранов излучением в области чувствительности бихромированного желатина на длине волны 442 nm возможна проекция качественных изображений не только когерентным излучением другой длины волны, но и белым светом. Исследованы проецирующие свойства экранов и показан эффект концентрации ими света в область зоны видения.

PACS: 42.40.-i

Ранее сообщалось о возможности создания для тренажеров голографического спекл-экрана, зарегистрированного по осевой схеме с использованием в качестве светочувствительного материала толстослойного бихромированного желатина [1]. В отличие от осевой голограммы Габора [2], регистрируемой в тонком светочувствительном материале, длинный тип осевой толстослойной голограммы восстанавливает только основное изображение объекта и не создает дополнительных изображений (сопряженное изображение, гало), которые, накладываясь на основное изображение, приводят к его существенным искажениям. Фазовая модуляция в объемной среде при регистрации безопорной голограммы диффузора приводит к подавлению нулевого порядка в восстановленном изображении. В случае, когда голограмма используется для проекции изображения через экран, осевая схема проекции позволяет избежать искажений проецируемого изображения, обусловленных наклоном про-

ецирующих лучей по отношению к экрану. Поэтому использование осевой голограммы является одним из немногих путей создания осевого голографического экрана.

На этапе регистрации голографического спекл-экрана диффузор освещается когерентным излучением. Узконаправленный диффузор, выполненный по специальной технологии, рассеивает свет в пределах малого телесного угла. Применение такого диффузора позволяет полностью использовать энергию излучения, экспонирующего светочувствительный материал.

В результате взаимной интерференции излучения, рассеянного всеми точками диффузора, возникает сложная объемная картина интерференции, которая записывается в светочувствительном материале. Полученная таким образом структура известна как безопорная голограмма. Каждую из точек записанного на такой голограмме объекта можно рассматривать в качестве референтного источника по отношению ко всем остальным точкам объекта, а голограмму в целом можно представить как сумму субголограмм. Каждая из таких субголограмм может быть считана независимо одной из точек диффузора, которая в данном случае может рассматриваться как референтный источник для данной субголограммы.

На этапе реконструкции голограмма, на которой записано изображение диффузора, освещается излучением точки, положение которой совпадает с положением одной из точек записанного на голограмме изображения диффузора. Взаимодействуя с соответствующей субголограммой, это излучение восстанавливает мнимое изображение диффузора. С помощью линзы, расположенной за голограммой, можно преобразовать мнимое изображение диффузора в действительное изображение, которое в случае проекции двумерных изображений выполняет роль зоны видения.

В качестве регистрирующей среды был использован разработанный нами ранее самопроявляющийся толстослойный материал на основе бихромированного желатина с добавками глицерина, чувствительный в синей области спектра [3–5]. Оптимальная толщина слоя бихромированного желатина, использованного для записи спекл-экранов, составляла 0.10–0.15 мм. Особенностью материала является то, что зарегистрированная на нем информация проявляется непосредственно во время экспозиции, что позволяет контролировать процесс регистрации голограммы диффузора. В частности, в первые минуты после

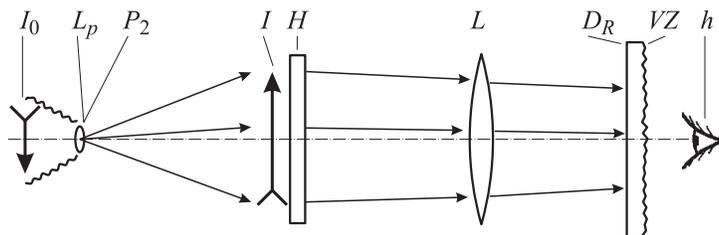


Рис. 1. Оптическая схема установки для проекции изображений через голографический спекл-экран.

начала экспозиции в центре зоны видения был виден только нулевой порядок — яркая точка, представляющая собою изображение точки, сформированное линзой. По мере увеличения экспозиции точечное изображение нулевого порядка размывалось и зона видения заполнялась равномерным диффузным светом. Какие-либо точечные изображения, соответствующие высшим порядкам дифракции, не возникали. Сопряженное изображение диффузора и гало также отсутствовали.

Схема экспериментальной установки, использованной для проекции двумерных изображений через голографический спекл-экран, приведена на рис. 1. Зарегистрированный спекл-экран H на стадии проекции изображений устанавливается на то же место, где он регистрировался, и освещается исходящей из точки P_2 световой волной. Точка P_2 находится в плоскости, в которой был расположен диффузор на стадии регистрации голографического экрана. Линза проектора L_p проецирует изображение двумерной сцены I_0 на экран. Линза L , расположенная за экраном, формирует действительное изображение D_R диффузора, которое является зоной видения VZ для наблюдателя h . Через зону видения наблюдатель может видеть изображение сцены I , сфокусированное на экран H .

Наиболее существенной особенностью полученной безопорной объемной голограммы диффузора является то, что, будучи записанной излучением с длиной волны 442 нм, она допускает восстановление излучением другой длины волны, в том числе белым светом. Это явление, по-видимому, объясняется тем, что голограмма H содержит очень большое количество субголограмм, соответствующих другим точкам диффузора.

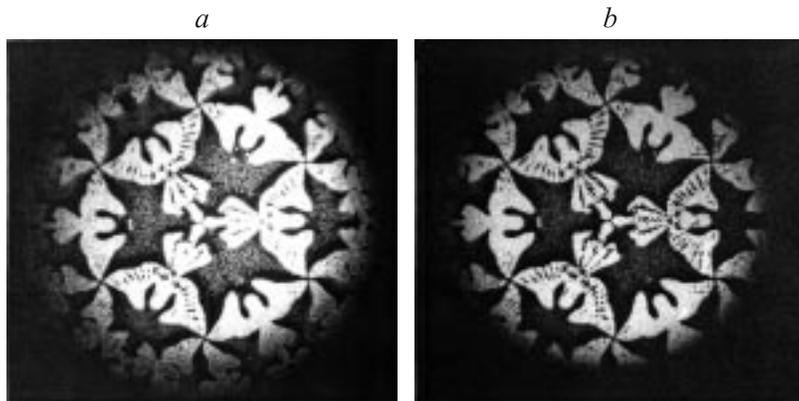


Рис. 2. Фотографии изображений, проецируемых в белом свете через концентрирующий свет голографический спекл-экран (*a*) и через матовое стекло (*b*), снятые при одной экспозиции.

Способность объемной безопорной голограммы быть восстановленной излучением с длиной волны, существенно отличающейся от длины волны излучения, использованного при ее записи, фактически означает, что голограмма может быть записана в области чувствительности фотоматериала, а затем использована для проекции цветных изображений.

Проекция изображений через голографический спекл-экран осуществлялась в красном свете гелий-неонового лазера, в синем свете гелий-кадмиевого лазера, а также в свете источника белого света (лампа проектора) и в свете светодиодов.

Наличие у голографического спекл-экрана эффекта концентрации света в зону видения наиболее наглядно видно при сравнении фотографий рис. 2, на котором приведены фотографии проецируемого широкополосным излучением белого светодиода изображения для случаев, когда в качестве экрана используются голографический спекл-экран (*a*) и экран на основе матового стекла (*b*). Иллюстрации демонстрируют хорошее качество проецируемого изображения.

На рис. 3 приведено нормированное распределение интенсивности света, полученное путем усреднения нескольких диаметральных распределений интенсивности в зоне видения с последующим сглаживанием, для случая концентрирующего свет голографического спекл-экрана (*1*)

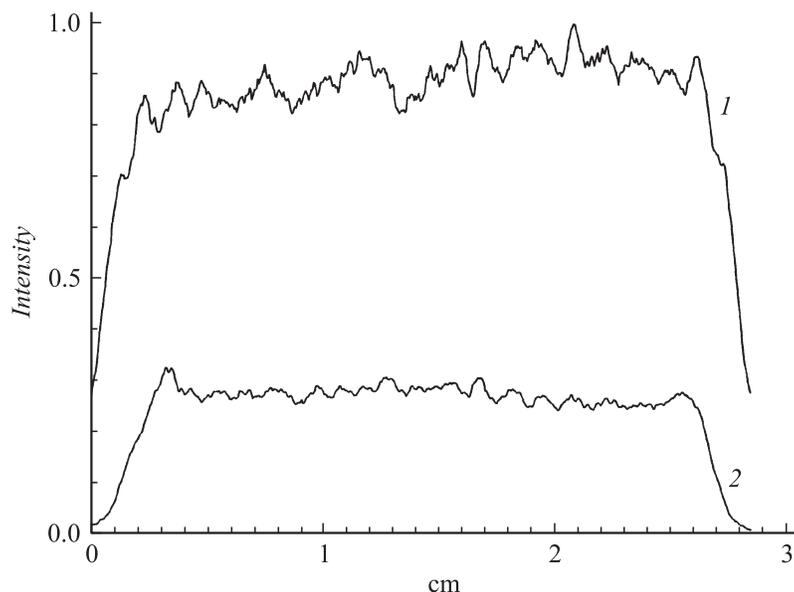


Рис. 3. Нормированное распределение интенсивности в центральном сечении зоны видения при проекции через спекл-экран (1) и через матовое стекло (2).

и для случая экрана на основе матового стекла (2). В последнем случае имеет место существенная потеря света, попадающего в зону видения наблюдателя. Таким образом, для одной и той же проекционной системы эффективность использования света в случае голографического спекл-экрана в 3–3.5 раза выше. Подобные распределения интенсивности в зоне видения имеют место для случая проекции в синем или красном свете.

Таким образом, взяв за основу тонкую осевую голограмму Габора, мы разработали вид голограмм, которые позволяют компенсировать искажения проецируемого изображения, характерные для этой простейшей осевой голограммы. В частности, был предложен осевой голографический спекл-экран на основе безопорной толстослойной голограммы, который не пропускает нулевой порядок, не создает гало и сопряженное изображение. Голографический экран обладает свойством концентрировать свет в зону видения, существенно повышая яркость

проецируемого изображения. Кроме того, такой экран допускает запись в одном диапазоне спектра, а реконструкцию в другом, в том числе в белом свете. Эта весьма существенная особенность данного экрана облегчает выбор фотоматериала для его записи, а также допускает проекцию через него цветного изображения.

Авторы выражают благодарность к.т.н. И.А. Маурер за приготовление слоев бихромированного желатина.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Федерального агентства по науке и инновациям по развитию системы ведущих научных школ (шифр РИ-112/001/170) и РФФИ (грант 04-02-17593).

Список литературы

- [1] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М. // ЖТФ. 2005. Т. 75. В. 1. С. 65–69.
- [2] Gabor D. // Proc. Phys. Soc. 1951. V. B64. P. 449.
- [3] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 4. С. 62–65.
- [4] Denisyuk Yu.N., Ganzherli N.M., Maurer I.A., Pisarevskaja S.A. // Proc. of SPIE. 1997. V. 3011. P. 244–247.
- [5] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 5. С. 64–69.