

07;12

Осевой диффузный экран на основе безопорной объемной голограммы

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

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: nina@holo.ioffe.rssi.ru

(Поступило в Редакцию 27 мая 2004 г.)

На основе голограммы Габора предложен вид голограмм, которые позволяют компенсировать искажения проецируемого изображения, характерные для этой простейшей осевой голограммы. В частности, предложен и исследован осевой голографический экран на основе безопорной толстослойной голограммы, который не пропускает нулевой порядок, не создает гало и сопряженного изображения. Такой экран допускает запись в одном диапазоне спектра, а реконструкцию в другом, что весьма существенно облегчает выбор светочувствительного материала для его регистрации, а также допускает проекцию цветного изображения.

Развивая схему регистрации осевых голограмм Габора для создания экранов для проекции изображений, мы пришли к идее использования безопорной объемной голограммы. Идея заключалась в том, что фазовая модуляция в объемной среде при регистрации безопорной голограммы диффузора может привести к подавлению нулевого порядка в восстановленном изображении. Схема записи такого экрана приведена на рис. 1. Диффузор D освещается когерентным излучением \bar{l}_0 . В результате взаимной интерференции излучения, рассеянного всеми точками P_1, P_2, P_3, \dots диффузора D возникает сложная объемная картина интерференции, которая записывается в светочувствительном материале F . Полученная таким образом структура известна как безопорная голограмма. Каждую из точек записанного на такой голограмме объекта, например точку P_2 , можно рассматривать в качестве референтного источника по отношению ко всем остальным точкам объекта (P_1, P_3, \dots). Голограммы H в целом можно представить как сумму субголограмм sh_1, sh_2, sh_3, \dots

$$H = sh_1 + sh_2 + sh_3 + \dots$$

Каждая из таких субголограмм может быть считана независимо одной из точек диффузора, которая в данном случае может рассматриваться как референтный источник для данной субголограммы.

Схема реконструкции изображения диффузора D_R , который выполняет в случае проекции двумерных изображений роль зоны видения, приведена на рис. 2. Голограмма H , на которой записано изображение диффузора, освещается излучением точки P'_2 , положение которой совпадает с положением одной из точек (например, точки P_2) записанного на голограмме изображения диффузора D (рис. 1). Взаимодействуя с соответствующей субголограммой, это излучение восстанавливает мнимое изображение D_V диффузора D . Линза L , расположенная за голограммой H , преобразует мнимое изображение D_V диффузора D в действительное изображение D_R .

Схема проекции двумерных изображений посредством рассмотренного экрана приведена на рис. 3. Линза проектора L_P , расположенная на месте точки P'_2 (рис. 1), проецирует изображение сцены I на экран H . Линза L , расположенная за экраном, формирует действительное изображение D_R диффузора D . Изображение D_R является зоной видения VZ , через которую наблюдатель h может наблюдать изображение сцены I , сфокусированное на экран H .

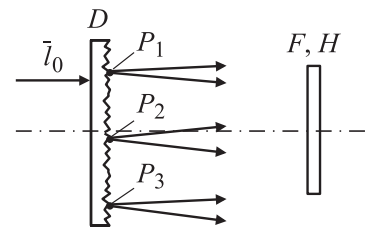


Рис. 1. Схема регистрации диффузного экрана: D — диффузор, освещаемый когерентным излучением \bar{l}_0 ; P_1, P_2, P_3, \dots — отдельные точки диффузора D ; F, H — светочувствительная среда, на которой регистрируется голограмма H .

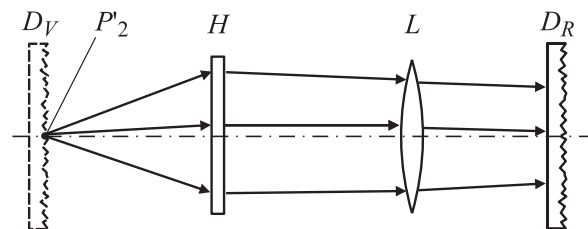


Рис. 2. Схема реконструкции изображения диффузора D_R , выполняющего роль зоны видения: H — голограмма; P'_2 — положение точечного референтного источника, используемого для реконструкции записанного на голограмме изображения диффузора D ; D_V — мнимое изображение диффузора D ; L — линза, преобразующая мнимое изображение D_V диффузора D в действительное изображение D_R .

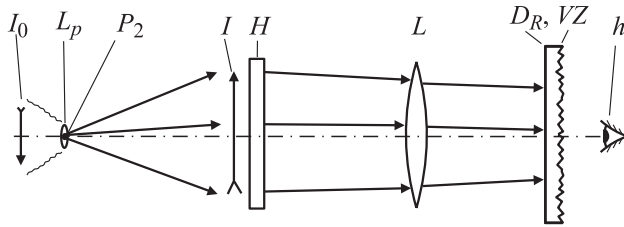


Рис. 3. Схема проекции двумерных изображений посредством рассмотренного экрана: L_p — линза проектора, расположенная на месте точки P'_2 (рис. 1); L — линза, формирующая действительное изображение D_R диффузора D , являющееся зоной видения VZ для наблюдателя h ; I_0 — изображение сцены I , сфокусированное на экран H .

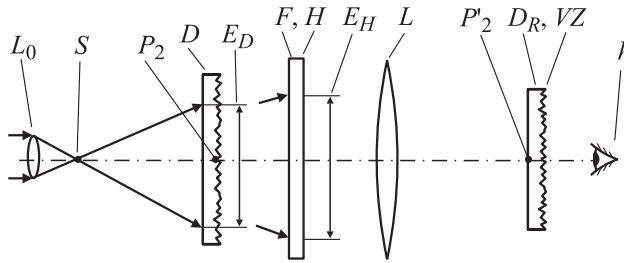


Рис. 4. Схема экспериментальной установки, использованной для записи и восстановления осевых экранов: L_0 — линза, фокусирующая излучение лазера в точку S ; D — узконаправленный диффузор с освещенным участком диаметром E_D ; F — светочувствительная среда, в плоскости которой диффузное световое пятно имеет диаметр E_H ; L — линза, формирующая при реконструкции голограммы действительное изображение диффузора D_R , который выполняет роль зоны видения VZ для наблюдателя h .

В качестве регистрирующей среды был использован разработанный нами ранее самопроявляющийся толстослойный материал на основе бихромированного желатина, чувствительный в синей области спектра [1–3]. Толщина слоя составляла 0.10–0.15 мм. Особенностью материала является то, что зарегистрированная на нем информация проявляется непосредственно во время экспозиции и автоматически фиксируется после хранения в темноте в течение несколько суток. Таким образом, процесс регистрации голограммы диффузора можно было контролировать непосредственно во время ее экспозиции.

Схема экспериментальной установки, использованной для записи и восстановления таких экранов, приведена на рис. 4. Линза L_0 фокусирует излучение лазера в точку S и далее создает на диффузоре D освещенный участок с диаметром E_D , равным 10 мм. Диффузор D , выполненный по специальной технологии, рассеивает свет в пределах весьма малого угла порядка 0.03 рад. В результате диаметр E_H освещенного участка на поверхности светочувствительной среды F составляет порядка 20 мм. Применение направленного диффузора позволяет полностью использовать энергию излучения, экспонирующего светочувствительный материал F .

В частности, в первые минуты после начала экспозиции в центре плоскости зоны видения VZ (рис. 4) был виден только нулевой порядок — яркая точка P'_2 , представляющая собою изображение точки P_2 , сформированное линзой L . По мере увеличения экспозиции точечное изображение нулевого порядка размывается, и зона видения заполняется равномерным диффузным светом. Какие-либо точечные изображения, соответствующие высшим порядкам дифракции, не возникали. Сопряженное изображение диффузора и гало также отсутствовали.

Наиболее существенной особенностью полученной безопорной объемной голограммы диффузора является то, что, будучи записанной излучением с длиной волны $\lambda = 442$ нм, она допускает восстановление излучением с длиной волны $\lambda = 633$ нм. Это явление, потиворечащее законам селективности объемных голограмм, по-видимому, объясняется тем, что кроме субголограммы, соответствующей точке P_2 , голограмма H содержит очень большое количество субголограмм, соответствующих другим точкам диффузора D .

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.

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 и исследован осевой голографический экран на основе безопорной толстослойной голограммы, который не пропускает нулевой порядок, не создает гало и сопряженного изображения. Кроме того, такой экран допускает запись в одном диапазоне спектра, а реконструкцию — в другом. Это весьма существенная особенность данного экрана облегчает выбор фотоматериала для его записи, а также допускает проекцию цветного изображения через него.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 04-02-17593) и гранта президента Российской Федерации по поддержке ведущих научных школ (грант № НШ-98.2003.2).

Список литературы

- [1] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. Вып. 4. С. 62–65.
- [2] Denisyuk Yuri N., Ganzherli Nina M., Maurer I.A., Pisarevskaya S.A. // Proc. SPIE. 1997. Vol. 3011. P. 244–247.
- [3] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. Вып. 5. С. 64–69.