

07

## **Зависимость характеристик рассеяния голографических диффузоров от параметров схемы регистрации**

© *Н.М. Ганжерли, С.Н. Гуляев, А.С. Гурин,  
Д.Д. Крамущенко, И.А. Маурер*

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
E-mail: nina.holo@mail.ioffe.ru

*Поступило в Редакцию 24 июля 2007 г.*

Представлены результаты исследования влияния параметров схемы регистрации, а также режимов фотохимической обработки на рассеивающие свойства голографических диффузоров, регистрируемых по осевой схеме Габора.

PACS: 42.40.Eq, 42.40.Ht, 42.70.Ln

Целью настоящего исследования явилось нахождение связи между рассеивающими характеристиками узконаправленных голографических диффузоров и параметрами оптической схемы регистрации и процесса фотохимической обработки галоидосеребряных фотоэмульсий. В качестве оптической схемы регистрации голографических диффузоров была выбрана безопорная схема записи голограмм, которая нами ранее была описана в работе [1]. При данной схеме записи голографических диффузоров область пространственных частот  $\nu$ , регистрируемых голограммой, определяется диаметром апертуры первичного диффузора

согласно приближенной формуле

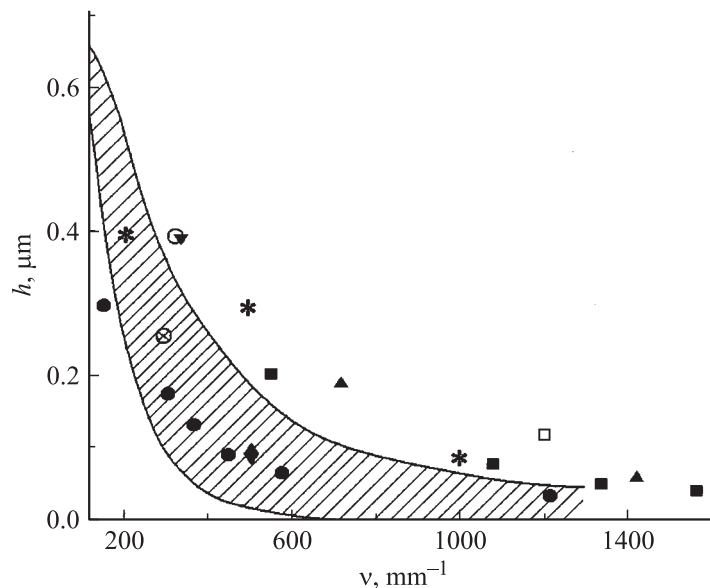
$$\nu_{\max} \approx A/\lambda S, \quad (1)$$

где  $\nu_{\max}$  — предельная пространственная частота записываемой интерференционной картины,  $A$  — диаметр апертуры первичного рассеивателя,  $\lambda$  — длина волны излучения лазера,  $S$  — расстояние от первичного рассеивателя до регистрирующей среды.

Выбор регистрирующего материала — галоидосеребряных эмульсий, обладающих более высокой светочувствительностью по сравнению с другими регистрирующими средами, определялся необходимостью получения голографических диффузоров достаточно большой площади. Рассеивающие свойства голографического диффузора определяются структурой поверхностного рельефа, полученного в результате проведения полной фотохимической обработки фотоматериала. При этом амплитудная составляющая голографической структуры, связанная с поглощением света в объеме фотоэмульсии, должна быть сведена к минимуму. Существует ряд методов получения рельефно-фазовых структур при голографической записи на галоидосеребряных фотоэмульсиях. Для изготовления голографических диффузоров наиболее подходящими являются методы, основанные на структурировании (избирательном дублировании) фотоэмульсий при отбеливании [2,3], и методы, в основе которых лежит деструкция желатина при облучении коротковолновым УФ-излучением [4]. Эти методы позволяют стабильно получать высокие значения глубины поверхностного рельефа на промышленно выпускаемых голографических фотоэмульсионных слоях.

Галоидосеребряные материалы, независимо от методов получения рельефно-фазовых структур, имеют ограничения по передаче пространственно-частотного спектра. Это может быть теоретически объяснено сглаживающим воздействием сил поверхностного натяжения, возникающих во влажном эмульсионном слое на высоких пространственных частотах [5,6], в результате чего высота поверхностного рельефа  $h$  уменьшается.

Математическая модель, описывающая спад пространственно-частотной характеристики в области высоких частот ( $\nu = 200-1500 \text{ mm}^{-1}$ ) для метода получения рельефно-фазовых голограмм воздействием коротковолновым УФ-излучением, приведена в работе [7]. Значения глубины поверхностного рельефа  $h$  в указанном

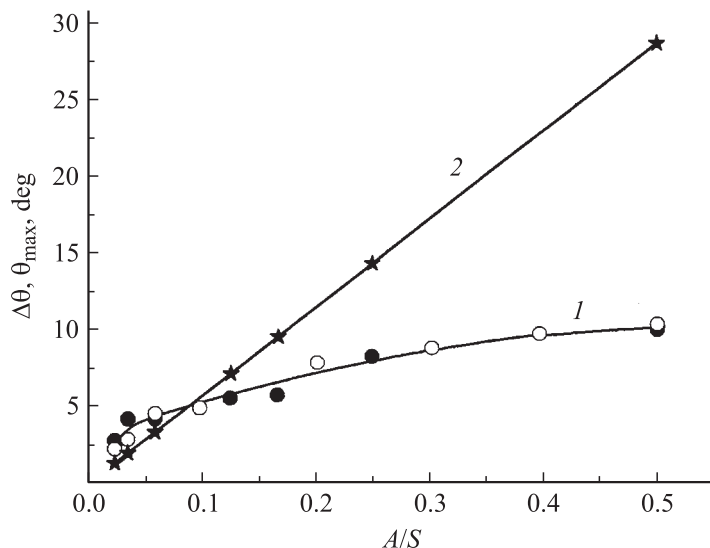


**Рис. 1.** Зависимость высоты поверхностного рельефа  $h$  от пространственной частоты голографической структуры  $\nu$ : для метода воздействия УФ-излучением — заштрихованная область, для других методов — символы. ●, ◆, ○, □, \* — БХЖ (для разных вариантов обработки слоев); ▲ — фотоматериал Agfa-8E56, отбеливание в R-10; ■, ▼, ⊗ — фотоматериал ПЭ-2, отбеленный в R-10 (для разных вариантов обработки).

диапазоне пространственных частот для данного метода хорошо согласуются с данными, полученными другими авторами на галоидо-серебряных фотоэмульсионных слоях и на слоях бихромированного желатина (БХЖ) с помощью других способов получения рельефно-фазовых структур, приведенных в работе [7] (см. рис. 1).

Таким образом, следует ожидать, что рассеивающие свойства голографических диффузоров должны определяться не только параметрами оптической схемы записи, но и передаточными свойствами светочувствительной среды.

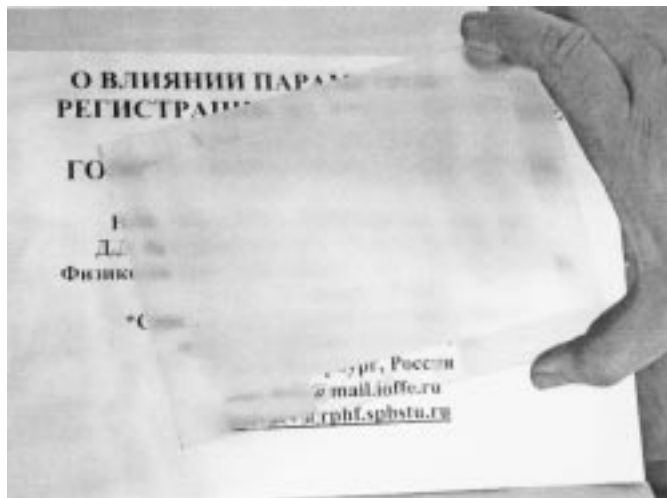
В эксперименте были изготовлены образцы голографических диффузоров, полученные с использованием дубящего отбеливания по следующей схеме: экспозиция фотопластинки когерентным излучением



**Рис. 2.** Зависимость ширины индикатрисы рассеяния голографических диффузоров  $\Delta\theta$  (кривая 1) и предельного угла рассеяния  $\theta_{\max}$  (кривая 2) для различных значений относительной величины апертуры первичного рассеивателя  $A/S$ .

лазера — проявление—фиксирование—отбеливание в составе R-10 — фиксирование, а также с использованием воздействия коротковолнового УФ-излучения на желатин эмульсионного слоя (метод ВКУФ) по схеме обработки: экспозиция—проявление—фиксирование—облучение фотопластинки УФ-излучением — отбеливание в недубящем медном отбеливателе — фиксирование. В обоих случаях серебряное изображение удалялось из фотоэмульсионного слоя, в результате чего получались чисто рельефно-фазовые рассеивающие структуры. Для получения диффузоров использовался отечественный голографический фотоматериал ПФГ-01.

Основным результатом измерений явилось снятие индикатрис рассеяния диффузоров при разных соотношениях между апертурой  $A$  первичного рассеивателя и расстоянием  $S$  от него до плоскости регистрации. На рис. 2 (кривая 1) представлена зависимость ширины индикатрисы рассеяния голографических диффузоров  $\Delta\theta$ , измеренной на уровне 0.5, от величины относительной апертуры первичного рас-



**Рис. 3.** Фотография голографического диффузора, полученного методом воздействия на желатин фотоэмульсионного слоя коротковолновым УФ-излучением.

сеивателя  $A/S$  для метода ВКУФ (черные кружки) и для метода, включающего дубящее отбеливание (белые кружки). Как видно из рисунка, наблюдается устойчивая корреляция между величиной  $A/S$  и  $\Delta\theta$ , причем точки, соответствующие разным методам преобразования амплитудной голографической записи в рельефно-фазовую, хорошо ложатся на одну кривую.

Предельный угол рассеяния  $\theta_{\max}$  голографического диффузора, записанного в линейном режиме регистрации (амплитудная запись), определяется областью записываемых пространственных частот и, согласно формуле (1), в радианной мере равен

$$\theta_{\max} \approx \lambda \nu_{\max} \approx A/S. \quad (2)$$

Кривая 2 на рис. 2 отражает эту зависимость. Из рисунка видно, что рост ширины индикатрисы рассеяния  $\Delta\theta$  голографических диффузоров, полученных в сугубо нелинейном режиме (фазовая запись), при увеличении относительной апертуры  $A/S$  существенно замедляется по сравнению с теоретической зависимостью для максимальных углов рассеяния  $\theta_{\max}$ . Это объясняется влиянием спада пространственно-частотной

характеристики галоидосеребряного материала при рельефно-фазовой записи, на что указывалось выше (рис. 1).

Результаты эксперимента показали возможность управления шириной индикатрисы рассеяния голографического диффузора в диапазоне углов  $0-8^\circ$ . Для лучших образцов голографических диффузоров величина интенсивности света, прошедшего в нулевом порядке дифракции, достигала величины менее 1% от интенсивности падающего света при эффективности пропускания света порядка 90%.

На рис. 3 приведена фотография голографического диффузора с размером рабочей области  $14.5 \times 9.5$  см, полученного методом воздействия на желатин эмульсионного слоя коротковолновым УФ-излучением.

## Список литературы

- [1] Ганжерли Н.М., Денисюк Ю.Н., Маурер И.А., Черных Д.Ф. // ЖТФ. 2005. Т. 75. В. 2. С. 135–136.
- [2] Smith H.M. // J. Opt. Soc. Am. 1968. V. 58. N 4. P. 533–539.
- [3] Бруй Е.Б., Корешев С.Н. // Оптика и спектроскопия. 1989. Т. 6. № 3. С. 685–688.
- [4] Гуляев С.Н., Ратушный В.П. // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 2. С. 45–49.
- [5] Бутусов М.М., Иоффе А.И. // Квантовая электроника. 1976. Т. 3. № 5. С. 969–974.
- [6] Bjelkhagen H.I. Silver-halide recording materials for holography and their processing. New York: Springer-Verlag, 1993. 300 p.
- [7] Гуляев С.Н. Дис. . . . канд. физ.-мат. наук. СПб.: СПб ГПУ, 2005.