

Регистрация высокочастотных рельефно-фазовых структур на галоидосеребряном фотоматериале ПФГ-01

© Н.М. Ганжерли¹, С.Н. Гуляев²✉, И.А. Маурер¹✉

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
195251 Санкт-Петербург, Россия

e-mail: nina.holo@mail.ioffe.ru, ✉ gulyaev@rphf.spbstu.ru, ✉ maureririna@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.06.2022 г.

В окончательной редакции 24.06.2022 г.

Принята к публикации 04.07.2022 г.

Предложен новый вариант изготовления высокочастотных голографических решеток с пространственной частотой вплоть до 1200 mm^{-1} на галоидосеребряном фотоматериале для голографии ПФГ-01, в основе технологии обработки которого лежит дубящее отбеливание в отбеливателях, содержащих бихроматы, и травление в воде или в растворах ледяной уксусной кислоты в изопропиловом спирте. Ключевым моментом является деструктивное воздействие на желатин коротковолнового УФ излучения с длиной волны менее 270 nm . В ходе экспериментов получены рельефно-фазовые голографические решетки с высокой дифракционной эффективностью — вплоть до 42%.

Ключевые слова: голографические дифракционные решетки, галоидосеребряные фотоэмульсии, пластинки фотографические ПФГ-01, коротковолновое УФ излучение, поверхностный рельеф, дифракционная эффективность, ледяная уксусная кислота, изопропиловый спирт.

DOI: 10.21883/OS.2022.09.53299.3786-22

Введение

Сочетание избирательного светового дубления ($\lambda = 440\text{ nm}$) и фотодеструкции желатина с помощью воздействия коротковолнового УФ излучения ($\lambda \leq 250\text{--}270\text{ nm}$) дает хорошие результаты при изготовлении высокоэффективных рельефно-фазовых пропускающих голографических решеток с высокой пространственной частотой вплоть до 1600 mm^{-1} на слоях бихромированного желатина (БХЖ) [1–3]. Интересно и практически полезно применить полученные результаты для содержащих желатин галоидосеребряных фотоэмульсий, чувствительность которых к световому излучению превышает чувствительность БХЖ почти на три порядка.

Концепция формирования рельефа для БХЖ состоит в том, что переменная задубленность слоя, созданная вследствие первичной регистрации интерференционной картины в видимом свете, модулирует воздействие коротковолнового УФ излучения на желатин [4]. Для галоидосеребряных фотоэмульсий избирательное дубление отсутствует, и основным фактором, модулирующим разрушающее действие ультрафиолетового излучения на желатин, служит наличие серебряного изображения (СИ) интерференционной картины [5]. Для слоев БХЖ основной операцией, позволяющей получить достаточно глубокий рельеф на пространственных частотах более 1000 mm^{-1} , является короткое (10 s) травление слоя водой или другими реагентами, прерываемое ваннами из 100% изопропилового спирта (ИПС) непосредственно

после облучения сухого слоя УФ излучением. В отличие от БХЖ после облучения УФ излучением галоидосеребряные фотоэмульсии требуют сравнительно длительных обрабатывающих водных процедур, связанных с удалением первичного СИ из всей толщины фотоэмульсионного слоя [5]. Это сужает диапазон регистрируемых пространственных частот до значений $200\text{--}300\text{ mm}^{-1}$, что обусловлено проявлением сил поверхностного натяжения, сглаживающих поверхностный рельеф при сушке влажного коллоида [6].

Исходя из приведенных различий в свойствах галоидосеребряных фотоэмульсий и БХЖ, можно сформулировать требования к изменению процедуры обработки, описанной в [5], что позволяет существенно расширить диапазон регистрируемых пространственных частот рельефно-фазовых голографических структур на галоидосеребряных фотоматериалах.

1. Избирательное дубление фотоэмульсии (структурирование) можно осуществить химически, используя дубящие отбеливатели типа R-10 [7] и R-9 [8] и сочетая эту операцию с удалением соединений серебра из фотоэмульсионного слоя.

2. Облучение ультрафиолетом высушенной фотоэмульсии производится после удаления соединений серебра из всей толщины слоя.

3. Короткое травление фотоэмульсии, действующее только на приповерхностный слой, производится непосредственно после облучения коротковолновым УФ излучением.

Сравнение обработки слоев БХЖ и галоидосеребряной эмульсии

БХЖ	ГАЛОИДОСЕРЕБРЯНАЯ ФОТОЭМУЛЬСИЯ
Экспонирование когерентным светом He–Cd-лазера ($\lambda = 440 \text{ nm}$). Инициация процесса избирательного светового дублирования в соответствии с интерференционной картиной голограммы.	Экспонирование когерентным светом He–Ne-лазера . ($\lambda = 630 \text{ nm}$). Образование скрытого изображения.
Водная обработка в растворе сульфата натрия. Удаление окрашивающих соединений хрома из слоя.	Фотографическое проявление в контрастном проявителе. Образование СИ интерференционной картины голограммы.
Промывка. Завершение процесса избирательного дублирования желатина.	Промывка
Сушка	Фиксирование. Удаление галоида серебра.
	Сушка
	Регалогенизирующее дубящее отбеливание в растворах, содержащих бихроматы. Избирательное химическое дублирование желатина.
	Промывка
	Фиксирование. Удаление галоида серебра.
	Промывка
	Водная обработка в растворе сульфата натрия. Удаление окрашивающих соединений хрома из слоя.
	Промывка
	Сушка
Облучение слоя УФ излучением. Избирательная фотодеструкция желатина.	Облучение слоя УФ излучением. Избирательная фотодеструкция желатина.
Короткое травление. Образование рельефа на поверхности желатина.	Короткое травление. Образование рельефа на поверхности желатина.
Изопропаноловые ванны. Прерывание процесса травления.	Изопропаноловые ванны. Прерывание процесса травления.
Окончательная сушка.	Окончательная сушка.

Таблица позволяет в деталях сравнить процедуры обработки слоев БХЖ и галоидосеребряных фотоэмульсий, в результате которых получают рельефно-фазовые голографические структуры на желатине — материале, обладающем сравнительно высокими оптическими параметрами.

Методика эксперимента и результаты исследования

В работе в качестве регистрирующей среды для записи дифракционных решеток был выбран галоидосеребряный фотоматериал ПФГ-01 для голографии толщиной $6 \mu\text{m}$ (производство АО „Компания Славич“, г. Переславль-Залесский). Голографические решетки записывались излучением He–Ne-лазера с длиной волны 630 nm в симметричной оптической схеме. Частота решеток

составляла величину порядка 1200 mm^{-1} . Источником коротковолнового УФ излучения с длиной волны менее 270 nm служила ртутная лампа высокого давления ДРТ-220.

Были проведены три серии экспериментов по созданию высокочастотных голографических решеток, отличающиеся как на стадии отбеливания (дубящее прямое или обрабатывающее отбеливание), так и вариантом травителя желатина (вода или раствор ледяной уксусной кислоты (ЛУК) в ИПС). Экспонированные образцы решеток химически обрабатывались в контрастном проявителе Д-19 в течение 3 min и фиксировались в кислом фиксаже 10 min , что приводило к созданию СИ в эмульсионном слое. Образцы промывались и высушивались на воздухе.

В первой серии экспериментов далее проводилось прямое отбеливание в отбеливателе R-10, фиксиро-

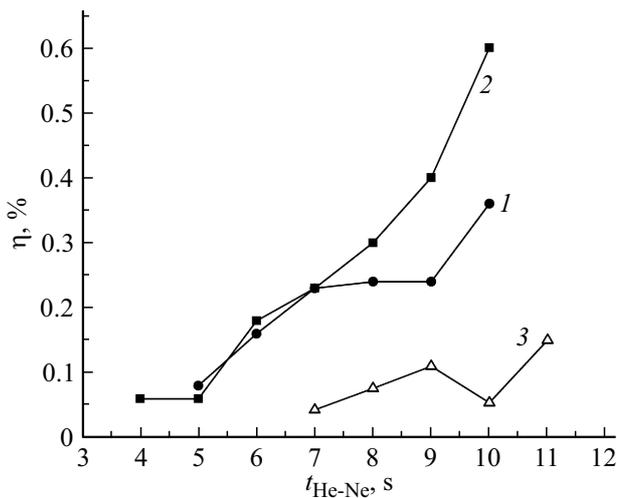


Рис. 1. Зависимость ДЭ первичных голографических решеток η от времени экспонирования излучением He–Ne-лазера для трех вариантов обработки галогидосеребряной фотоэмульсии до засветки УФ излучением и травления: 1, 2 — прямое регалогенизирующее отбеливание, 3 — обрабатывающее отбеливание.

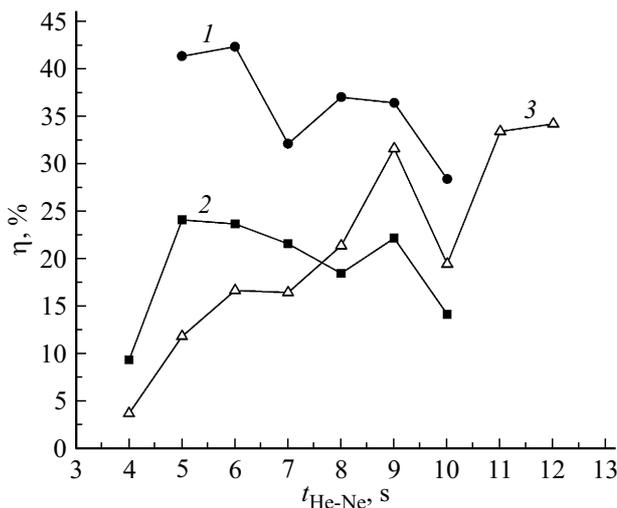


Рис. 2. Зависимость ДЭ рельефно-фазовых голографических решеток от времени экспонирования излучением He–Ne-лазера для трех вариантов обработки фотоэмульсии после засветки УФ излучением и травления: 1, 3 — травление в растворе ЛУК (50%) + ИПС (50%), 2 — травление в воде.

вание для удаления СИ из фотоэмульсии, промывка, осветление в растворе сульфита натрия для удаления окрашивающих соединений Сг из фотоэмульсионного слоя, промывка и сушка. На этом этапе была измерена ДЭ первичных голограмм как отношение энергии света, дифрагированного в первый порядок дифракции, к энергии падающего на образец пучка при оптимальном угле падения, близком к углу Брэгга (рис. 1, кривая 1). В дальнейшем следовало облучение образцов ртутно-кварцевой лампой в течение 30 min, травление в растворе ЛУК (50%) + ИПС (50%) в течение 15 s и промывка

в двух ваннах ИПС (100%) по 30 s в каждой. После окончательной сушки обдувом воздухом измерялась ДЭ решеток. Кривая 1 на рис. 2 отражает эти измерения. Максимальная ДЭ составила около 42%.

Во второй серии экспериментов после засветки образцов УФ излучением вместо травления слоя в ЛУК (50%) + ИПС (50%) использовалось травление в воде в течение 12 s. Зависимость ДЭ решеток в этом случае представлена соответственно кривыми 2 на рис. 1 и 2 (соответственно до и после засветки ультрафиолетом и травления).

Третья серия экспериментов осуществлялась с применением обрабатывающего отбеливателя R-9 и травления в ЛУК (50%) + ИПС (50%). В этом случае необходимость второго фиксирования отпала, так как СИ удалялось из фотоэмульсионного слоя непосредственно при обрабатывающем отбеливании. ДЭ решеток для этого случая представлена кривыми 3 на рис. 1 и 2 (до и после засветки ультрафиолетом и травления соответственно). Максимальная ДЭ достигла величины 34%.

Выводы

Технология обработки фотоматериала для голографии ПФГ-01 на основе деструктивного воздействия УФ излучения на желатин, включающая операции дубящего отбеливания и короткого травления, позволила расширить пространственно-частотный диапазон рельефно-фазовых голографических структур, регистрируемых на галогидосеребряной фотоэмульсии, вплоть до 1200 mm^{-1} . ДЭ первичных голографических решеток, измеренная до облучения образцов коротковолновым УФ излучением, увеличивается в результате предложенной обработки в 200–500 раз, достигая для полученных рельефно-фазовых структур максимальной величины 42%.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] Н.М. Ганжерли, С.Н. Гуляев, И.А. Маурер, А.В. Архипов. Автометрия, **56** (12), 92 (2020). [N.M. Ganzherli, S.N. Gulyaev, I.A. Maurer, A.V. Arkhipov. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, **56** (2), 77 (2020). DOI: 10.3103/S8756699020020065].
- [2] Н.М. Ганжерли, С.Н. Гуляев, И.А. Маурер. Опт. и спектр., **129** (10), 1276 (2021). DOI: 10.21883/OS.2021.10.51493.2283-21
- [3] Н.М. Ганжерли, С.Н. Гуляев, И.А. Маурер, А.В. Архипов. Письма в ЖТФ, **47** (21), 13 (2021). DOI: 10.21883/PJTF.2021.21.51621.18941
- [4] Н.М. Ганжерли, С.Н. Гуляев, И.А. Маурер. Письма в ЖТФ, **42** (19), 26 (2016). [N.M. Ganzherli, S.N. Gulyaev, I.A. Maurer. Technical Physics Letters, **42** (19), 978 (2016). DOI: 10.1134/S1063785016100060].

- [5] С.Н. Гуляев, В.П. Ратушный. Оптический журнал, **70** (2), 45 (2003). [S.N. Gulyaev, V.P. Ratushnyi. J. Opt. Technol, **70** (2), 105 (2003). DOI: 10.1364/JOT.70.000105].
- [6] С.Н. Гуляев Научно-технические ведомости СПбГПУ, **59** (3), 105 (2008).
- [7] H.M. Smith. J. Opt. Soc. Am., **58** (4), 533 (1968).
- [8] R.L. Lamberts, C.N. Kurtz. Applied Optics, **10** (6), 1342 (1971).