

07;12

©1995

ЗАПИСЬ ЦВЕТНЫХ ГОЛОГРАММ НА МОНОСЛОЯХ ПФГ-03Ц

*Г.фон Балли, Ф.Дрезен, В.Б.Марков,
А.Ростоп, Э.В.де Халлер*

Голографические дисплеи находят применение как средство отображения визуальной информации [1]. В практическом отношении наиболее эффективными являются отражательные голограммы [2-4]. Однако их применение, в частности, в музейной практике [3] и инженерном моделировании [1] до последнего времени сдерживалось несовершенством качества цветных изображений. Прежде всего, это было обусловлено отсутствием панхроматических фотослоев для голографии. Регистрация цветных голограмм последовательно на двух различных слоях [5] оказывается технически сложной, а запись голограмм на специально синтезированных многослойных материалах [6] осложнена технологическими.

В связи с выпуском слоев ПФГ-03С для цветной голографии представляются целесообразными разработка методов записи и исследование характеристик зарегистрированных на них отражательных голограмм, что явилось содержанием данной работы.

Запись монохромных тест-голограмм плоского зеркала осуществлялась излучением гелий-неонового ($\lambda_1 = 632.8$ нм, $P = 30$ мВт, NEC), аргонового ($\lambda_2 = 488$ нм, $P = 200$ мВт, Spectra Physics-2000) и второй гармоникой непрерывного Nd:YAG лазера ($\lambda_3 = 532$ нм, $P = 400$ мВт, Adlas DPU 452 II). Отражательные голографические решетки регистрировались на каждой из длин волн λ_i при угле схождения пучков $2\theta \approx 170^\circ$ для нескольких значений экспозиции E_{λ_i} .

Для записи цветных тест-голограмм излучение лазеров с помощью светоделительных элементов сводилось в один пучок. В этом случае регистрация голограмм осуществлялась после подбора оптимального соотношения величин экспозиций на каждой из длин волн λ_i , составлявшего соответственно $E_{\lambda_1} : E_{\lambda_2} : E_{\lambda_3} = 0.7 : 1.0 : 0.5$ при суммарной экспозиции $E_0 \sim 1-2$ мДж/см².

Важным звеном получения цветных голограмм является послеэкспозиционная обработка фотослоя. Методика проявления слоев ПФГ-03 в растворах ГП-2 либо ФМГ [7], ис-

пользуемая для записи монохромных голограмм, оказывается неприемлемой для регистрации цветных изображений. Буро-оранжевый цвет частиц коллоидного серебра, образующихся при такой обработке, препятствует правильной цветопередаче в восстановленном изображении. Более эффективной представляется методика обработки в недубящих проявителях с последующим отбеливанием эмульсионного слоя [6].

В настоящей работе для получения цветных голограмм использовались пирогаллол-содержащие проявляющие растворы. Оптимальные результаты были получены с модифицированным проявителем Holodev-602 [8]. При этом важным параметром проявляющего раствора являлся баланс концентраций C_d входящих в него пирогаллола и сульфита натрия (Na_2SO_3). Используемый в качестве проявляющего вещества пирогаллол одновременно оказывает дубящее воздействие на фотослой. Содержание Na_2SO_3 , вследствие его растворяющего воздействия на зерна галоидного серебра, также оказывается критичным. Правильный подбор величины C_d позволяет добиться минимальной усадки фотослоя, что имеет непосредственное отношение к цвету восстанавливаемого голографического изображения.

Для приведенных условий эксперимента величина $C_d \sim 0.8-1.0$ ($C_d = 0.45$ в [8]) была найдена оптимальной для получения высокоэффективных голограмм. При этом концентрация пирогаллола в проявителе снижалась на 15-20% по отношению к исходной в рецептуре. Также с целью более однородной проработки фотослоя общая концентрация проявителя снижалась вдвое по отношению к рекомендуемой [8] при соответствующем увеличении времени обработки до $T_{\text{пр}} \approx 5$ мин ($t \sim 22^\circ\text{C}$). Проявленные фотопластинки отбеливались в растворе РВQ-амидол ($T_{\text{отб}} \approx 3-5$ мин, $t \sim 22^\circ\text{C}$) с последующей промывкой в проточной воде и сушкой в естественных условиях ($t \sim 22-25^\circ\text{C}$).

Экспозиционные зависимости дифракционной эффективности $\eta(E\lambda_i)$ при записи монохромных и "цветных" тест-голограмм приведены на рис. 1. Применение описанной выше технологии обработки позволило зарегистрировать отражательные голографические решетки с $\eta_s \approx 65-75\%$ на каждой из длин волн λ_i отдельно. Запись нескольких голограмм в одном слое приводит к снижению дифракционной эффективности каждой из записанных решеток до $\eta_m \approx 18-25\%$. Полученная величина $\eta_m/\eta_s \approx 0.3$ заметно превышает расчетную [9] $\eta_m/\eta_s = \text{th}^2(\pi\Delta n_i D/2N_i\lambda_i \cos\theta) / \text{th}^2(\pi\Delta n_i D/\lambda_i \cos\theta) \approx 0.1$ (D — толщина голограммы, N_i — число зарегистрирован-

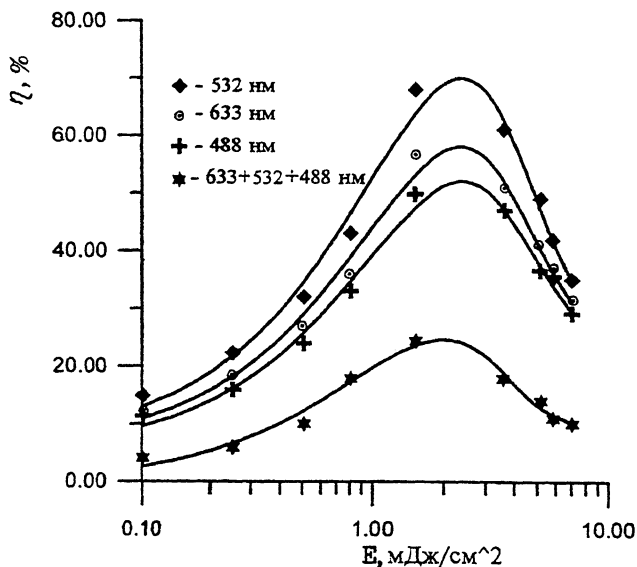


Рис. 1. Зависимость дифракционной эффективности отражательных голографических решеток η (%) от экспозиции E (мДж/см²) при раздельной (○ — $\lambda = 633$ нм; ◆ — $\lambda = 532$ нм; + — $\lambda = 488$ нм) и совмещенной ★ — 633 нм + 532 нм + 488 нм) записи.

ных в слое решеток). Наблюдаемое отличие экспериментальной и расчетной величин η_n/η_s может быть связано с неполным использованием динамического диапазона регистрирующей среды при записи голограммы.

Важными параметрами цветных голограмм являются угловая $\eta(\theta)$ и спектральная $\eta(\lambda)$ селективности. Они отвечают соответственно за угол обзора и качество цветопередачи в изображении при изменении взаимного положения восстанавливающего источника (или наблюдателя) относительно голограммы. Типичная зависимость спектральной селективности $\eta(\lambda_i)$, полученная при изменении угла восстановления голограммы $\theta_v = \theta_0 \pm \Delta\theta$, показана на рис. 2. Учитывая параметры записанной решетки ($D = 8$ мкм, $\theta_0 = 85^\circ$), можно отметить хорошее совпадение экспериментально измеренной ширины функции спектральной селективности $\Delta\lambda_\theta \approx 16$ нм для заданного угла θ_v с рассчитанной в рамках теории связанных волн [10], что свидетельствует об однородной проработке фотослоя по толщине. Максимальное значение величины $\eta_\theta(\lambda_i)$ достигается при значениях λ , смещенных не более чем на 10 нм по отношению к записывающей длине волны.

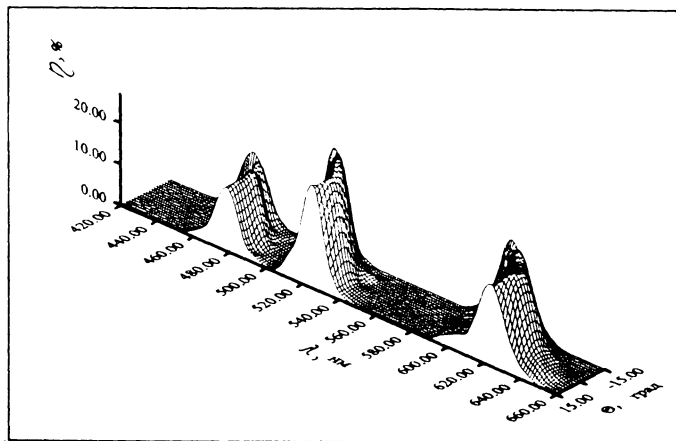


Рис. 2. Совместная функция угловой и спектральной селективности многоцветной отражательной голографической решетки (общая экспозиция $E_0 = 1.7 \cdot 10^{-3}$ Дж/см²).

Легко показать, что реальная ширина спектральной селективности голограммы является произведением ширины спектра восстанавливающего источника и собственно функции спектральной селективности голограммы (определяемой толщиной среды, периодом и глубиной коэффициента модуляции решетки). Характерный вид представленной на рис. 2 зависимости $\eta = (\theta_v, \lambda_i)$ обусловлен особенностью восстановления отражательной голографической решетки широкополосным источником. В этом случае уменьшение величины η при изменении θ_v может быть частично компенсировано изменением длины волны считывающего излучения. При этом для голограмм, записанных в условиях $\theta_0 \sim 90^\circ$, смещение длины волны дифрагированного сигнала в силу необходимости выполнения условий Брегга всегда происходит в сторону коротких длин волн, что и наблюдается на эксперименте (рис. 2). В результате такого коротковолнового смещения сигналов, дифрагированных на трех решетках, общий баланс цвета в восстановленном изображении оказывается нарушенным, что следует принимать во внимание при выборе геометрии записи и восстановления голограммы.

Разработанная методика обработки фотослоя позволила записать и восстановить в излучении некогерентного источника (галогеновая лампа) высококачественные цветные голографические изображения с малым уровнем шума.

Авторы выражают благодарность проф. А.И.Хижняку за полезные обсуждения, Н.М.Бурькину за содействие в про-

ведении части экспериментальных измерений, а также Министерству исследований и технологий ФРГ за финансовую поддержку проекта № 03-VB9MUE.

Список литературы

- [1] *Hesselink L.B., Agui Garcia J.C.* // SPIE Proc. 1989. V. 1051. P. 164.
- [2] *Денисюк Ю.Н.* // ЖТФ. 1978. Т. 48. В. 8. С. 1683.
- [3] *Markov V.B., Yavtushenko I.G.* // Museum. 1982. V. 34. P. 168.
- [4] *Vukicevich D., von Bally G. Sommerfeld W.* // Optics for Protection of Man and Environment against Natural and Technological Disaster. V. 11. / Ed. G. von Bally, H.I.Bjelkhagen. Elsevier, Amsterdam, New York, 1993. 153 p.
- [5] *Narayanan P.* // J. Optics (Paris). 1980. V. 1. N 1. P. 53.
- [6] *Денисюк Ю.Н., Артемьев С.В. и др.* // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. В. 10. С. 597.
- [7] *Кириллов Н.И.* // Основы процессов обработки галоидно-серебрянных кинофотоматериалов. М.: Искусство, 1977.
- [8] *Bjelkhagen H.I.* // Silver Halide Materilas for Holography and Their Processing. Ch. 9. Springer-Verlag, Heidelberg, New-York, 1993.
- [9] *Шевцов М.К.* // ОМП. 1985. № 1. С. 1.
- [10] *Kogelnik H.* // Bell Syst. Techn. J. 1969. V. 48. P. 2909.

Лаборатория биофизики,
Университет Мюнстер, ФРГ
Институт прикладной оптики
НАН Украины
Федеральный Институт технологии
Лозана, Швейцария

Поступило в Редакцию
9 июня 1995 г.

