

50. Объемные голограммы — инструмент исследования высокоразрешающих светочувствительных сред

О. В. Андреева

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

Объемные голограммы толщиной порядка 1 мм представляют большой интерес с точки зрения развития экспериментальной базы исследований в области трехмерной голографии и обеспечения практических применений голографии, связанных как с созданием элементов и устройств, так и с изучением свойств самих светочувствительных сред, которые невозможно реализовать традиционными методами. В докладе представлены исследования связи параметров голограмм-решеток с параметрами регистрирующей среды и условиями экспонирования. Особое внимание уделено рассмотрению фотоотклика регистрирующей среды в том случае, когда наблюдается нелокальность фотоотклика, обусловленная физической природой светочувствительной среды и условиями записи голограммы.

Ключевые слова: Голография, Объемные регистрирующие среды, Голограммы-решетки, Нелокальность фотоотклика, Разрешающая способность регистрирующей среды.

Цитирование: Андреева, О. В. Объемные голограммы — инструмент исследования высокоразрешающих светочувствительных сред / О. В. Андреева // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 263–265.

В докладе уделено рассмотрены особенности пропускающих фазовых голограмм-решеток с высокими значениями амплитуды фазовой модуляции и приведены результаты экспериментов, подтверждающих наличие эффекта каналирования излучения так называемыми «сильными» пропускающими голограммами [1–2]. Описываемые эксперименты проводились с использованием объемных регистрирующих сред лабораторного изготовления на основе силикатного стекла (PTR-Glass) и полимера (Diphfen: PQ+PMMA). Рассмотрение обсуждаемых вопросов, оценки и рекомендации даны на основе многолетней работы авторов с объемными средами для голографии. Рассматриваются требования к объемным регистрирующим средам, предназначенным для создания голограммных оптических элементов; принципы конструирования, особенности использования светочувствительных образцов и влияние внешних условий. Обсуждаются особенности пропускающих объемных голограмм и их уникальные возможности — эффект каналирования излучения и эффект Бормана (просветление объемных пропускающих голограмм).

Анализ свойств трехмерных голограмм и оценка предельных значений дифракционной эффективности проводится для голограмм-решеток с использованием формул теории связанных волн (теория связанных волн Когельника). Наибольший интерес для практики представляют трехмерные (объемные) фазовые голограммы, в которых отсутствует поглощение. Предельные значения дифракционной эффективности таких голограмм, как пропускающих,

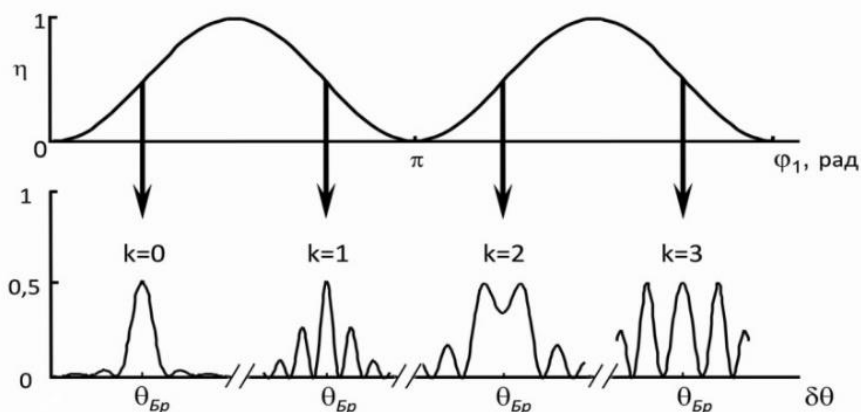


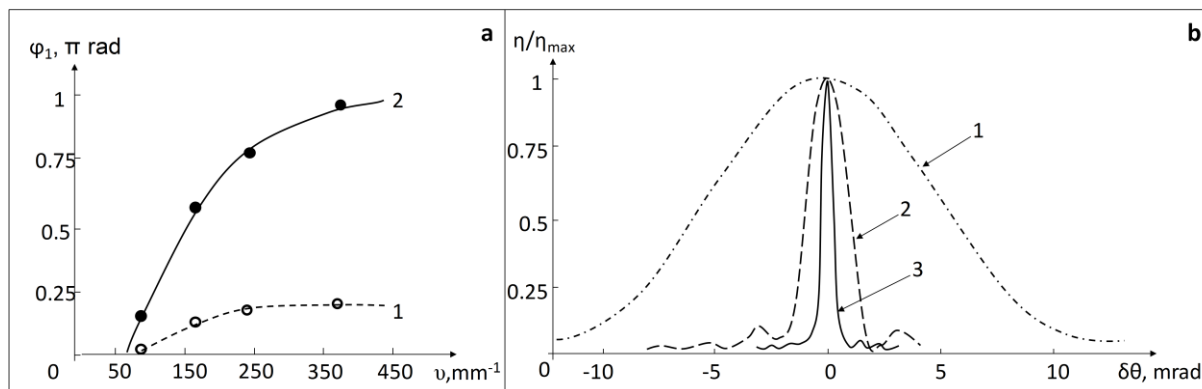
Рис. 1. Зависимость дифракционной эффективности η фазовых пропускающих голограмм без поглощения от амплитуды фазовой модуляции φ_1 (вверху) и контуры селективности голограмм с одинаковой дифракционной эффективностью ($\eta = 50\%$) и различной величиной фазовой модуляции (внизу).

Таблица 1. Оценка предельных значений дифракционной эффективности (ДЭ) объемных голограмм различных типов

Тип	Виды голограмм	Модулируемая величина	Максимальная ДЭ, %	
			в линейном режиме записи	в нелинейном режиме записи
3D	пропускающие	Коэффициент поглощения	3,7	25
		Показатель преломления	100	100
	отражательные	Коэффициент поглощения	7,2	60
		Показатель преломления	100	100

так и отражательных, составляют 100 %. Одним из основных параметров, связывающих свойства голограммы и регистрирующей среды является амплитуда фазовой модуляции $\varphi_1 = \frac{\pi n_1 T}{\lambda \cos \theta}$, где n_1 — амплитуда модуляции показателя преломления; T — физическая толщина голограммы; λ — длина волны излучения в среде; 2θ — угол между интерферирующими пучками (угол между нулевым и дифрагированным пучками).

Следует отметить, что зависимость дифракционной эффективности η пропускающих фазовых объемных голограмм от величины фазовой модуляции φ_1 носит осциллирующий характер (см. рисунок 1). Поэтому по измеренным значениям ДЭ однозначное определение φ_1 для высокоэффективных голограмм можно произвести только с учетом формы контура селективности, как это показано на рисунке 1.



1 — после экспонирования, 2 — после проведения полного цикла постэкспозиционной обработки
 а) зависимость фазовой модуляции пропускающих голограмм-решеток φ_1 от пространственной частоты регистрируемой интерференционной картины ν :

1 — $\gamma = 70 \text{ мм}^{-1}$, 2 — $\gamma = 320 \text{ мм}^{-1}$, 3 — $i = 1100 \text{ мм}^{-1}$.
 б) контуры угловой селективности пропускающих голограмм с различной пространственной частотой, зарегистрированные с $\varphi < 0,5 \pi$:

Рис. 2

Величина фазовой модуляции φ_1 является важным для практики параметром, так как позволяет определить значение амплитуды модуляции показателя преломления регистрирующей среды, n_1 , что необходимо при разработке технологии получения оптических элементов на данной регистрирующей среде (см. рисунок 2).

В настоящее время в число параметров, характеризующих свойства объемных голограмм, входит такой параметр, как «Нелокальность фотоотклика на световое воздействие» [3]. Термин «Нелокальность фотоотклика» дополняет и уточняет характеристики, как материала для записи голограмм, так и свойства голограмм, определяемые терминами «Разрешение материала» и «Функция передачи модуляции (Частотно-контрастная характеристика)».

Список источников

- [1] **Andreeva, O. V.** Light-sensitive Media-Composites for Recording Volume Holograms Based on Porous Glass and Polymer / O. V. Andreeva, O. V. Bandyuk // Holograms — Recording materials and Applications, Edited by Izabela Naydenova. — 2011. — P. 45–70. — ISBN 978-953-307-981-3.
- [2] **Andreeva, O. V.** Volume Transmission Hologram Gratings — Basic Properties, Energy Channelizing, Effect of Ambient Temperature and Humidity / O. V. Andreeva, Yu. L. Korzinin and B. G. Manukhin // Holography — Basic Principles and Contemporary Applications. Edited by Emilia Mihaylova. — 2013. — DOI:10.5772/46111. — ISBN: 978-953-51-1117-7. — Chapter 2. — P. 37–60. — DOI:10.5772/54253.
- [3] **Manukhin, B. G.** Reversible and irreversible alterations of the optical thickness of PQ/PMMA volume recording media samples. Part I: Experiment / B. G. Manukhin, S. A. Chivilikhin, I. J. Schelkanova, N. V. Andreeva, D. A. Materikina, O. V. Andreeva // Applied Optics. — 2017. — Vol. 56. — № 26. — P. 7351–7357. — SJR=0.633