

09.6

## Влияние УФ-излучения на свойства дифракционных решеток на бихромированном желатине

© Н.М. Ганжерли<sup>1</sup>, С.Н. Гуляев<sup>2</sup>, И.А. Маурер<sup>1</sup><sup>1</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

E-mail: nina.holo@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 5 мая 2016 г.

Приведены результаты экспериментов по воздействию коротковолнового УФ-излучения на величину поверхностного рельефа и дифракционную эффективность голографических дифракционных решеток, зарегистрированных на слоях бихромированного желатина. Продемонстрировано существенное увеличение высоты поверхностного рельефа, приводящее к повышению дифракционной эффективности решеток до величины, превышающей 25%.

Высокоэффективные рельефно-фазовые голограммы на галоидосеребряных слоях можно получить преобразованием первичной амплитудной структуры в поверхностный рельеф. К одному из эффективных способов такого преобразования относится деструктивное воздействие коротковолнового УФ-излучения с длиной волны 250–270 nm (метод ВКУФ) [1]. При этом первичное серебряное изображение интерференционных полос голограммы служит эффективным экраном, модулирующим интенсивность УФ-излучения. Поверхностный рельеф высотой 1  $\mu\text{m}$  и более возникает в результате растворения облученных участков желатина в воде. Данный метод показал высокую эффективность при создании разнообразных случайных и регулярных голографических структур на галоидосеребряных фотослоях, что было показано в работах [2–4].

Кроме галоидосеребряных фотоэмульсий желатин является также основным компонентом слоев бихромированного желатина (БХЖ). В отличие от галоидосеребряных фотоэмульсий в слоях БХЖ осуществляется непосредственное изменение физико-химических свойств желатина при голографической записи интерференционной картины за счет избирательного светового дублирования лазерным излучением в

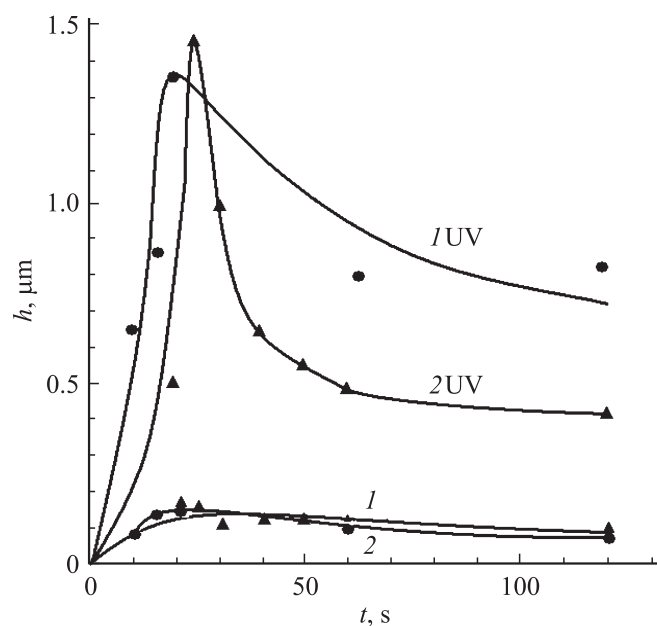
присутствии бихроматов. При этом происходит структурирование, т.е. установление большого количества поперечных связей в максимумах интерференционной картины. Отсюда следует ожидать, что фотолитически задубленные участки БХЖ будут менее подвержены разрушающему воздействию коротковолнового УФ-излучения. Следовательно, применение облучения слоев БХЖ коротковолновым УФ-излучением должно приводить к появлению значительного поверхностного рельефа после купания образцов в воде. Можно заключить, что механизм образования поверхностного рельефа на слоях БХЖ коренным образом отличается от механизма образования рельефа на галоидосеребряных фотоэмульсиях. Концепция формирования рельефа в данном случае состоит в том, что переменная задубленность слоя БХЖ, созданная вследствие регистрации интерференционной картины, сама является фактором, модулирующим воздействие коротковолнового УФ-излучения. Таким образом, экспериментальная проверка данной идеи является приоритетной целью настоящей работы.

Для этого исследовались голографические дифракционные решетки, регистрируемые на слоях БХЖ по симметричной оптической схеме излучением He–Cd-лазера с длиной волны  $0.44 \mu\text{m}$ . Пространственная частота решеток регулировалась в диапазоне от 60 до  $220 \text{mm}^{-1}$  с помощью изменения угла схождения интерферирующих пучков.

Слои БХЖ изготавливались в лабораторных условиях подобно способу, описанному в работе [5]. Это позволяло варьировать толщину получаемых слоев, а также концентрацию бихромата аммония в слое. На стеклянную подложку поливался горячий 6%-й водный раствор желатина, в который предварительно добавлялся бихромат аммония в количестве от 0.4 до 1.2 g на 100 ml раствора. После высыхания слоев их толщина составляла от 14 до  $90 \mu\text{m}$ .

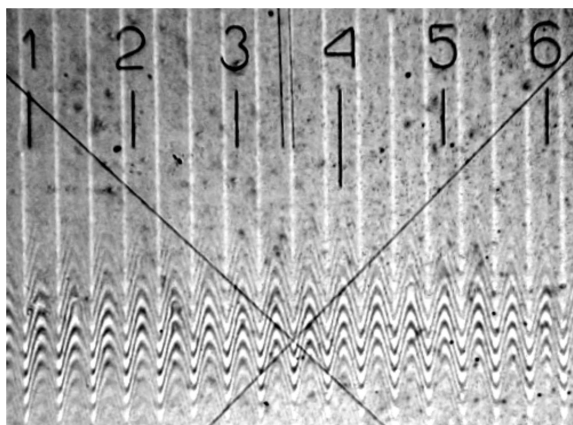
Полученные образцы обрабатывались купанием в 20%-м растворе сульфита натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в течение 5 min, далее промывались 20 min в проточной воде и сушились при комнатной температуре. Обработка слоев по методу ВКУФ проводилась согласно методике, описанной в работе [1], и заключалась в облучении образцов с помощью ртутно-кварцевой лампы ДРТ-220 в течение 40 min, промывке в воде в течение 5 min и сушке при комнатной температуре.

Высота поверхностного рельефа в образцах решеток измерялась с помощью микроинтерферометра МИИ-4 до и после воздействия УФ-излучения. На рис. 1 приведены зависимости высоты поверхностного



**Рис. 1.** Зависимость высоты поверхностного рельефа от времени экспонирования до (кривые 1 и 2) и после (кривые 1UV и 2UV) УФ-облучения голографических решеток.

рельефа  $h$  (как перепада между гребнями и впадинами) для решеток с пространственной частотой  $103 \text{ mm}^{-1}$  до (кривые 1 и 2) и после (кривые 1UV и 2UV) воздействия УФ-излучения на желатин от времени экспонирования когерентным излучением He–Cd-лазера. Концентрация бихромата аммония составляла 0.6 g на 100 ml раствора. Экспериментальные данные, помеченные кружками, относятся к слою толщиной  $51 \mu\text{m}$ , а помеченные треугольниками — к слою толщиной  $86 \mu\text{m}$ . Необлученные УФ-излучением образцы (кривые 1 и 2) демонстрируют небольшой поверхностный рельеф с высотой  $h \leq 0.15 \mu\text{m}$ , обусловленный силами натяжения, возникающими при сушке мокрого коллоида [6], и, возможно, небольшим частичным растворением участков незадубленного желатина в холодной воде (температура растворов при обработке не превышала  $20^\circ\text{C}$ ). После облучения образцов УФ-излучением наблю-



**Рис. 2.** Интерференграмма поверхности образца после обработки УФ-излучением.

дается практически десятикратное увеличение высоты поверхностного рельефа, что продемонстрировано на микрофотографии поверхности образца, сделанной с помощью микроинтерферометра Линника МИИ-4 (рис. 2).

Анализ интерферограмм поверхности образцов говорит о высокой регулярности формы поверхностного рельефа, что свидетельствует о малом уровне шумов и искажений поверхностной структуры. Значительное увеличение глубины фазовой модуляции, производимое дифракционной решеткой на проходящий через нее пучок, позволило нам довести дифракционную эффективность в 1-м порядке дифракции при считывании излучением He–Ne-лазера с длиной волны  $0.63 \mu\text{m}$  до величины порядка 25%.

Эффект значительного усиления поверхностного рельефа, связанный с облучением УФ-излучением, имел место и для других образцов решеток на БХЖ в диапазоне пространственных частот от  $120$  до  $220 \text{mm}^{-1}$  и толщин слоев от  $14$  до  $90 \mu\text{m}$ . Для образцов с наибольшей пространственной частотой  $220 \text{mm}^{-1}$ , для которой еще возможна оценка высоты поверхностного рельефа с помощью микроинтерферометра МИИ-4, высота рельефа после облучения УФ-излучением достигла  $0.37 \mu\text{m}$ , что примерно в 4.5 раза больше, чем у необлученных

образцов. При этом дифракционная эффективность при считывании излучением He–Cd-лазера с длиной волны  $0.44\ \mu\text{m}$  составила 25%. Концентрация бихромата аммония для данных образцов с пространственной частотой решетки  $220\ \text{mm}^{-1}$  и толщиной  $14\ \mu\text{m}$  была 1.2 g на 100 ml раствора.

Результаты проведенных исследований показали, что облучение голографических структур на БХЖ коротковолновым УФ-излучением увеличивает высоту поверхностного рельефа на порядок, что более чем достаточно для достижения предельной дифракционной эффективности, предсказываемой теорией фазовых дифракционных решеток. Полученные результаты подтверждают справедливость сделанного нами предположения о механизме формирования поверхностного рельефа на БХЖ под действием коротковолнового УФ-излучения.

## Список литературы

- [1] Гуляев С.Н., Ратушный В.П. // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 2. С. 45–49.
- [2] Ганжерли Н.М., Гуляев С.Н., Гурин А.С. и др. // ЖТФ. 2009. Т. 79. В. 7. С. 76–80.
- [3] Ганжерли Н.М., Гуляев С.Н., Маурер И.А., Черных Д.Ф. // ЖТФ. 2014. Т. 84. В. 12. С. 112–116.
- [4] Ганжерли Н.М., Гуляев С.Н., Маурер И.А., Черных Д.Ф. // Оптический журнал. 2015. Т. 82. В. 3. С. 37–42.
- [5] Shankoff T.A. // Appl. Opt. 1968. V. 7. P. 2101–2105.
- [6] Smith H.M. // J. Opt. Soc. Am. 1968. V. 58. N 4. P. 533–538.