

07

Запись объемных голограмм в водно-желатиновом геле, активированном красителем

© Т.Ш. Эфендиев, В.М. Катаркевич, А.Н. Рубинов

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск
E-mail: efendiev@dragon.bas-net.by

Поступило в Редакцию 10 мая 2006 г.

Исследованы голографические характеристики толстослойного светочувствительного материала на основе водно-желатинового геля, активированного красителем. При использовании для записи голограмм излучения 2-й гармоники частотного АИГ : Nd³⁺-лазера с длительностью импульсов 17 ns достигнута дифракционная эффективность $\sim 70\%$. Угловая селективность записанных голограмм составляла $\sim 20'$.

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

Одной из основных задач трехмерной голографии является обеспечение исследований в этой области регистрирующими материалами. Особый интерес представляют среды с фотоиндуцированным изменением показателя преломления. Светочувствительные материалы с фазовым откликом, такие как бихромированный желатин и фотополимеры, позволяют осуществить запись объемных голограмм с высоким значением угловой и спектральной селективности. Среди большого количества голографических регистрирующих сред особо выделяются слои бихромированного желатина, которые позволяют получать высокоэффективные голограммы с очень низким уровнем шумов.

Авторами работы [1] предложен и исследован новый вид толстослойного светочувствительного материала — гелеобразный бихромированный желатин, предназначенный для регистрации объемных голограмм. Позднее ими же были получены и исследованы самопроявляющиеся глицеринсодержащие слои бихромированного желатина толщиной 100–500 μm . Дифракционная эффективность голограмм, записанных в такой среде излучением гелий-кадмиевого лазера, составляла более 60% [2,3].

Нами получен и исследован светочувствительный материал на основе активированного красителем водно-желатинового геля [4–6]. В отличие от всех опубликованных работ, посвященных записи фазовых голограмм в желатиновых слоях, в предложенной нами среде бихромат аммония не используется. Установлено, что такая среда позволяет записывать стационарные объемные решетки с высоким пространственным разрешением. Предложенная среда обладает свойством самопроявления и тем самым не требует постэкспозиционной обработки. Интерференционная структура проявляется в материале по мере записывания решетки. Такие решетки обеспечивают достаточно эффективную распределенную обратную связь в лазере (РОС-лазер) и позволяют получать генерацию излучения с узкой спектральной линией. Нами получена и исследована генерация излучения нано- и пикосекундной длительности на дискретных частотах в спектральной области от 540 до 650 nm (период пространственных решеток $\Lambda \approx 180\text{--}216\text{ nm}$ соответственно) [7]. В одном и том же объеме геля может быть записано несколько пространственных решеток с различными периодами. При возбуждении этого объема излучением накачки наблюдалась одновременная генерация излучения на дискретных частотах, соответствующих периодам записанных решеток [8]. При этом пучки генерации, соответствующие различным частотам, пространственно полностью совпадают, что весьма удобно с точки зрения практического использования многочастотного излучения.

Ввиду технологической простоты записи решеток в активированном красителем водно-желатиновом геле и удобства его использования в РОС-лазере, представляет интерес исследование голографических характеристик такого материала. Ниже приведены результаты проведенных исследований.

Для приготовления регистрирующей среды использовались следующие материалы: краситель родамин С, дистиллированная вода, желатин фотографический. Желатин набухал в дистиллированной воде при комнатной температуре, затем раствор помещался в водяную баню ($T \approx 50^\circ\text{C}$) и в него добавлялся краситель. Приготовленный раствор заливался в герметичную кювету и студенился при комнатной температуре. Готовая среда представляла собой плотный гель, предназначенный для записи объемных пространственных решеток.

В проведенных экспериментах использовался гелевый раствор родана С (молярный вес $\mu = 479.02 \text{ g}$) с концентрацией $\sim 0.12 \text{ mg/g}$. Концентрация желатина в геле составляла 0.1 g/g (10%). Гель помещался в плоскопараллельную стеклянную кювету. Толщина слоя геля составляла $d = 0.1 \text{ cm}$. Для записи голограмм использовалось излучение 2-й гармоники ($\lambda = 532 \text{ nm}$) АИГ : Nd³⁺-лазера с длительностью импульсов $\tau_{0.5} \approx 17 \text{ ns}$ при частоте их следования 50 Hz . Диаметр облучаемой зоны на поверхности геля составлял 0.3 cm . Желатиновый гель без красителя слабо поглощает в видимой и ближней ИК-областях спектра. Оптическая плотность 10%-го гелевого раствора желатина с толщиной слоя 1 mm на длине волны записи составляет всего лишь $2 \cdot 10^{-3}$, а на длине волны считывающего излучения — и того меньше.

Запись голограмм осуществлялась двумя сходящимися в горизонтальной плоскости пучками лазерного излучения. Интерферирующие пучки распространялись симметрично относительно нормали к поверхности регистрирующего слоя. При этом электрический вектор **E** излучения был ориентирован в вертикальной плоскости. Угол схождения пучков записывающего излучения 2θ составлял 6.1° , что обеспечивало формирование в среде пространственной решетки с периодом $\Lambda = 5 \mu\text{m}$. В процессе записи решетка считывалась пучком излучения однододового He–Ne-лазера ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$, расходимость $\sim 0.6 \text{ mrad}$, мощность $\sim 10 \text{ mW}$), которое не поглощается используемой светочувствительной средой. Измерение энергетических характеристик падающего и дифрагированного пучков осуществлялось с помощью фотодиодов ФД-24К и двухканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) ADC10M/10-2. Энергия импульсов излучения АИГ : Nd³⁺-лазера контролировалась фотодиодом ФД-24К и двухканальным АЦП ADC20M/10-2. При этом регистрация мощности падающего и дифрагированного пучков излучения He–Ne-лазера производилась после завершения воздействия на регистрирующую среду каждого из импульсов записывающего излучения.

На рис. 1 приведены измеренные таким методом зависимости дифракционной эффективности η записываемой стационарной решетки от дозы облучения E , полученные при двух различных значениях плотности энергии записывающих пучков ϵ : 13 (кривая 1) и 40 mJ/cm^2 (кривая 2). Видно, что увеличение дозы облучения сопровождается соответствующим ростом дифракционной эффективности решетки с последующим выходом значения η на некоторый максимальный уро-

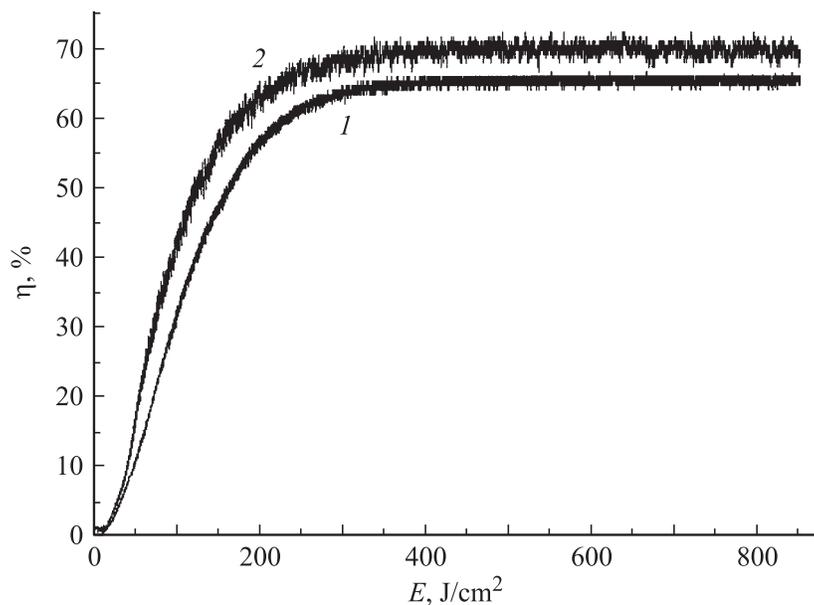


Рис. 1. Зависимость дифракционной эффективности записываемой решетки η от дозы облучения E при плотности энергии импульсов записывающего излучения ϵ : 3 (1) и 40 мДж/см² (2).

вень. В пределах исследованных доз облучения ($0 < E < 900 \text{ Дж/см}^2$) дальнейшее увеличение экспозиции не приводило ни к повышению, ни к снижению дифракционной эффективности записываемой решетки. Из представленных на рис. 1 кривых также видно, что достигаемая дифракционная эффективность определяется в основном дозой, а не плотностью записывающего излучения: трехкратное увеличение плотности энергии записывающего излучения сопровождалось лишь незначительным (с $\eta \sim 66\%$ до $\eta \sim 70\%$) ростом максимально достигаемого значения дифракционной эффективности, причем в обоих случаях выход значений η на максимальный уровень достигался при сходных дозах облучения среды $E \approx 400 \text{ Дж/см}^2$.

Угловая селективность записанных голограмм определялась из измерений зависимости интенсивности дифрагированного пучка излучения

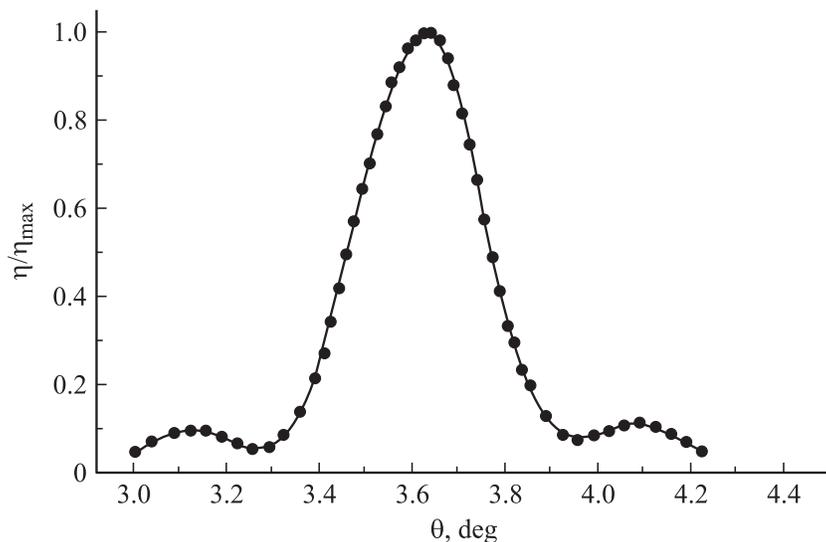


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности стационарной объемной решетки η/η_{\max} от угла поворота θ голограммы относительно падающего пучка вертикально-поляризованного излучения He–Ne-лазера. Угол Брэгга $\theta_0 = 3.63^\circ$.

He–Ne-лазера от угла поворота исследуемой голограммы относительно падающего пучка. Голограмма закреплялась на юстировочном столике, механизм которого позволял изменять угол поворота входного окна кюветы с гелем относительно падающего пучка с шагом перестройки в одну угловую минуту. На рис. 2 приведена измеренная угловая зависимость дифракционной эффективности стационарной решетки при считывании излучением He–Ne-лазера с вертикальной ориентацией электрического вектора. Видно, что зависимость η от угла падения считывающего луча имеет форму максимума. При этом ширина максимума на половине его высоты составляла $\sim 20'$.

Время хранения зарегистрированной в среде голографической информации без уменьшения дифракционной эффективности составляет не менее 6 месяцев.

Полученные в эксперименте данные по дифракционной эффективности и угловой селективности записанных голограмм позволяют провести оценку эффективной толщины голограммы d' , а также величины измерения показателя преломления Δn геля, активированного родамином С, под воздействием импульсного излучения наносекундной длительности с длиной волны $\lambda = 532$ nm. Для пропускающих объемных голограмм с гармоническим профилем модуляции коэффициента преломления угловая селективность голограммы $\Delta\theta$, ее период Λ и эффективная толщина d' связаны между собой простым соотношением [9]:

$$d' \approx \Lambda / \Delta\theta. \quad (1)$$

Подстановка в (1) наших экспериментальных данных ($\Lambda = 5 \mu\text{m}$, $\Delta\theta = 20' = 0.0056$ rad) дает значение $d' \approx 0.89$ mm, что близко к толщине слоя геля в кювете $d = 1$ mm.

Согласно [9], значение максимальной дифракционной эффективности пропускающей объемной голограммы η определяется выражением

$$\eta = \sin^2(\pi \Delta n d' / \lambda \cos \theta_0), \quad (2)$$

где θ_0 — угол Брэгга (Bragg) для считывающего излучения.

Из (2) следует, что

$$\Delta n = \arcsin(n^{1/2}) \lambda \cos \theta_0 / \pi d'. \quad (3)$$

Подставляя в (3) значения $\eta = 0.7$, $\lambda = 632.8$ nm, $\theta_0 = 3.63^\circ = 0.0633$ rad и $d' \approx 0.89$ mm, получаем, что в условиях нашего эксперимента изменение показателя преломления регистрирующей среды достигало $\Delta n \approx 1.9 \cdot 10^{-4}$.

Таким образом, проведенные исследования показали, что активированный красителем желатиновый гель позволяет записывать объемные голограммы с достаточно высокой дифракционной эффективностью. Технология приготовления такого светочувствительного материала проста. Ожидается, что оптимизация технологии приготовления среды и условий записи голограмм в желатиновом геле позволит достичь более высоких значений голографических характеристик.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Ф04-37).

Список литературы

- [1] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 17. С. 51–55.
- [2] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 7. С. 62–66.
- [3] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 5. С. 64–69.
- [4] Катаркевич В.М., Рубинов А.Н., Рыжечкин С.А., Эфендиев Т.Ш. // Труды конф. „Лазерная физика и спектроскопия“ (г. Гродно, Беларусь, 2–4 июля 1997 г.). Минск, 1997. Т. 1. С. 92–94.
- [5] Efendiev T.Sh., Katarkevich V.M., Rubinov A.N. // Abstracts of the Int. Conf. „CLEO/Europe- EQEC’2000“ (Nice, France, September 10–15, 2000). P. K79.
- [6] Эфендиев Т.Ш., Катаркевич В.М., Рубинов А.Н., Ступак А.П. // ЖПС. 2001. Т. 68. № 1. С. 92–95.
- [7] Efendiev T.Sh., Katarkevich V.M., Rubinov A.N. // Abstracts of the Int. Conf. „LAT 2002“ (Moscow, Russia, June 22–28, 2002). LME9.
- [8] Эфендиев Т.Ш., Катаркевич В.М., Рубинов А.Н., Запорожченко В.А. // Материалы XV Белорусско-литовского семинара „Лазеры и оптическая нелинейность“ (г. Минск, Беларусь, 6–8 июня 2002 г.). Минск, 2002. С. 150–156.
- [9] Kogelnik H. // Bell System Tech. J. 1969. N 48. P. 2909–2947.