

Е.А. Пешкур,

студентка 5 курса физического факультета БГПУ

В.М. Катаркевич,

кандидат физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник Института физики НАН Беларуси

К.А. Саечников,

кандидат физико-математических наук,

заведующий кафедрой информатики

и основ электроники БГПУ

ЗАПИСЬ ОБЪЕМНЫХ ГОЛОГРАММ В АКТИВИРОВАННОМ КРАСИТЕЛЕМ ЖЕЛАТИНОВОМ ГЕЛЕ

Развитие трехмерной голографии и ее практических приложений неотделимы от прогресса в области разработки и создания материалов для регистрации трехмерных голограмм. В последние годы большое внимание уделяется разработке новых светочувствительных материалов с улучшенными свойствами [1-3]. Одно из важных направлений в этих исследованиях – разработка толстослойных (до миллиметра толщиной) фотоматериалов для объемной записи информации [3-6].

Объемные голограммы, или голограммы в объемных средах, представляют значительный интерес с точки зрения создания оптической памяти сверхвысокой емкости, обладающей низкой чувствительностью к повреждению отдельных участков. Это связано с тем, что хранение информации в объемной (трехмерной) голограмме происходит не в одиночной пространственно локализованной ячейке, а в форме одиночной

волны, зарегистрированной в виде интерференционной картины во всем объеме среды, который занимает голограмма. Такой способ хранения информации обладает рядом достоинств и позволяет провести аналогию трехмерной голограммы с мозгом человека. Эта аналогия простирается гораздо дальше возможности создания сверхплотной памяти, не чувствительной к повреждению ее отдельных участков. (Например, на основе безпорной трехмерной голограммы можно осуществить ассоциативную память, свойства которой весьма близки процессам нашего мышления). Таким образом, возможности голографии позволяют осуществить моделирование информационных процессов, происходящих в живой природе. Все эти свойства могут быть широко использованы в информационных системах и устройствах, предназначенных для записи, хранения и считывания информации.

Поиск и разработка принципиально новых регистрирующих сред, обеспечивающих получение эффективных объемных голограмм, является чрезвычайно важной задачей.

Требования к регистрирующим материалам для записи голограмм с толщиной ~ 1 мм далеко выходят за рамки возможностей традиционных фотографических материалов: они должны обладать высокой разрешающей способностью, большой физической толщиной светочувствительного слоя, высокой прозрачностью на рабочей длине волны, обеспечивать длительное хранение и недеструктивное считывание голограмм.

Среди большого количества голографических регистрирующих сред особо выделяются слои бихромированного желатина, которые позволяют осуществить запись объемных голограмм с высоким значением угловой и спектральной селективности и с очень низким уровнем шумов.

Целью работы являлось отработка методики записи [7] и электронной обработки сигналов пропускающей стационарной объемной голограммы в среде на основе желатинового геля, допированного красителем и наночастицами SiO_2 и исследование ее дифракционной эффективности.

В работе предложены и реализованы две новые самопроявляющиеся светочувствительные среды - активированный красителем желатиновый гель и органо-неорганический нанокompозит – гель желатина, допированный красителем и наночастицами двуокиси кремния. Такие среды позволяют записывать стационарные объемные решетки с высоким пространственным разрешением. В отличие от всех опубликованных работ, посвященных записи фазовых голограмм в желатиновых слоях, в предложенных средах бихромат аммония не используется. Разработанные среды обладают свойством самопроявления и, тем самым, не требуют постэкспозиционной обработки. Интерференционная структура проявляется в материале по мере записывания решетки.

Технология приготовления светочувствительного материала с наночастицами SiO_2 , предназначенного для записи объемных голограмм, заключается в следующем. Краситель растворялся в дистиллированной воде. В приготовленный раствор добавлялся желатин, который набухал в течение примерно одного часа при комнатной температуре. Затем раствор помещался в водяную баню ($T \approx 50^\circ\text{C}$) и выдерживался при периодическом помешивании в течение 3-х часов. В полученный раствор добавлялись наночастицы двуокиси кремния торговой марки Ludox с диаметром 12 нм. Полученная смесь перемешивалась при температуре 40°C . Затем раствор заливался в плоскопараллельную стеклянную кювету с толщиной рабочего слоя $d=0.1$ см и студенился при комнатной температуре в течение одних суток. Готовая среда представляла собой достаточно плотный гель с высокой оптической однородностью.

Исследована зависимость дифракционной эффективности объемной голограммы от дозы облучения E и интенсивности (плотности энергии) ε записывающего излучения. Оптическая схема экспериментальной установки предназначенной для записи трехмерной голограммы и измерения ее дифракционной эффективности приведена на рис.1.

Гель помещался в плоскопараллельную кювету с внутренним расстоянием между входным и выходным окнами $d=0.1$ см. Кювета с гелем располагалась на столике, позволяющем осуществлять поворот образца вокруг вертикальной оси с необходимой точностью. Вращение столика осуществлялось микрометрическим винтом.

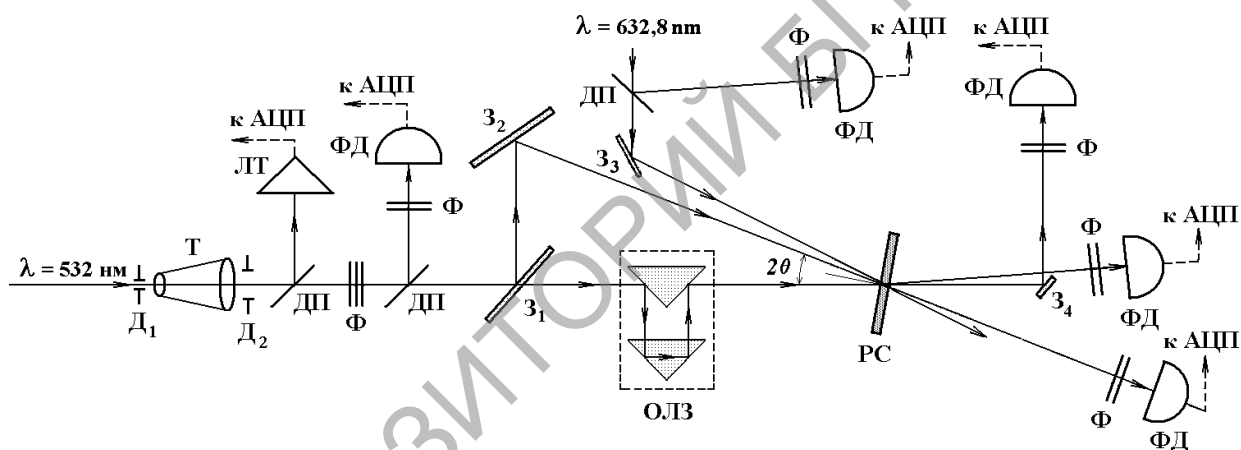


Рисунок 1 – Оптическая схема записи и считывания трехмерной голограммы.

D_1 , D_2 – диафрагмы; T – телескоп; Φ – светофильтры; ДП – делительная пластинка; Z_1 – полупрозрачное зеркало; Z_2 - Z_4 – "глухие" зеркала; ОЛЗ – оптическая линия задержки; РС – регистрирующая среда; ЛТ – лавинный транзистор; ФД – фотодиод; АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

Диаметр облучаемой зоны на поверхности геля был равен 0.3 см (площадь $S_0 \approx 0.07$ см²) при общей площади поверхности геля в кювете $S \approx 2$ см². Для записи голограмм использовалось излучение 2-й гармоники ($\lambda=532$ нм) АИГ:Nd³⁺-лазера с активной модуляцией добротности с длительностью импульсов $\tau_{0.5} \approx 17$ нс и частотой их следования до 50 Гц.

Запись голограмм осуществлялась двумя сходящимися в горизонтальной плоскости пучками лазерного излучения при максимальной частоте следования импульсов. В процессе записи решетки под углом Брэгга считывались пучком излучения одномодового *He-Ne*-лазера ($\lambda=632.8$ нм, диаметр пучка ~ 1 мм, расходимость ~ 0.6 мрад, мощность ~ 1 мВ), которое не поглощалось используемой светочувствительной средой.

Проведенные измерения показали, что при данном значении плотности энергии импульсов $\varepsilon = E_3/S_0$ (где E_3 – суммарная энергия двух падающих на кювету интерферирующих пучков записи, а S_0 – площадь облучаемой зоны) дифракционная эффективность записываемой решетки η является функцией дозы облучения гелевого раствора красителя E . На рисунке 2 представлена измеренная на длине волны $\lambda = 632.8$ нм зависимость дифракционной эффективности η записанной в 10%-ом гелевом растворе родамина С стационарной решетки (пространственный период $A = 5$ мкм) от дозы облучения E при энергии записывающих пучков $\varepsilon = 41$ мДж/см². Видно, что увеличение дозы облучения раствора при записи решетки сопровождается соответствующим ростом ее дифракционной эффективности η с последующим выходом значения η на некоторый максимальный уровень. Дальнейшее увеличение экспозиции не приводило к снижению дифракционной эффективности записываемой решетки. Как показали измерения, трехкратное уменьшение плотности энергии записывающего излучения ε (с 41 до 15 мДж/см²) сопровождалось лишь незначительным (с ~ 82 до $\sim 77\%$) падением максимально достигаемого значения дифракционной эффективности η . При этом в обоих случаях выход значений η на максимальный уровень достигался практически при одинаковом значении дозы облучения $E \approx 800$ Дж/см².

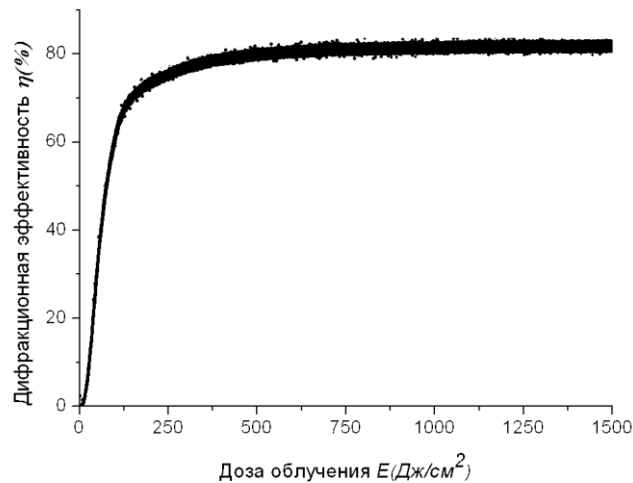


Рисунок 2 – Зависимость дифракционной эффективности объемной голографической решетки с пространственным периодом $d \approx 5$ мкм от дозы облучения E при плотности энергии импульсов записывающего излучения $\varepsilon \approx 41$ мДж/см².

Таким образом, разработана и отлажена технология приготовления светочувствительной среды, предназначенной для записи глубоких трехмерных стационарных голограмм. Осуществлена запись глубокой трехмерной стационарной голограммы в приготовленной светочувствительной среде. Исследована зависимость дифракционной эффективности записанной трехмерной голограммы от дозы записывающего излучения и показано, что увеличение дозы облучения светочувствительной среды при записи голограммы сопровождается соответствующим ростом ее дифракционной эффективности η с последующим выходом значения η на некоторый максимальный уровень. Максимальное значение дифракционной эффективности, равное 82% получено при плотности энергии записывающего излучения $\varepsilon = 41$ мДж/см².

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева, О.В. Объемные пропускающие голограммы в полимерной среде с фенантренхином. / Бандюк О.В., Парамонов А.А., Черкасов А.С.,

- Гаврилюк Е.Р., Андреев П.В.// Оптический журнал. - Т.67. - №12. - 2000. - С.27-33.
2. Денисюк, Ю.Н. Запись глубоких трехмерных голограмм в гелеобразных слоях бихромированной желатины. / Ганжерли Н.М., Маурер И.А. // Письма в ЖТФ. - Т.21. - В.17.- 1995.- С.51-55.
 3. Денисюк, Ю.Н. Самопроявляющийся, содержащий глицерин толстослойный бихромированный желатин как среда для записи голограмм. / Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А. // Письма в ЖТФ. - Т.25. - В.5. - 1999. - С.64–69.
 4. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. - М.:Мир. 1973. - 686с.
 5. Суханов, В.И.Трехмерные глубокие голограммы и материалы для их записи / Оптический журнал.- №1.- 1994.- С 61-70.
 6. Эфендиев Т.Ш., Катаркевич В.М., Рубинов А.Н. Запись объемных голограмм в водно-желатиновом геле, активированном красителем. Письма в ЖТФ.–2006.–Т.32.В.21.–С.62 -68
 7. Эфендиев, Т.Ш., Катаркевич В.М., Рубинов А.Н. Способ записи объемных голограмм. Патент №9613 Республики Беларусь.