

07;12

Мультиплексирование спекл-голограмм во встречных пучках в толстослойном бихромированном желатине

© Ю.Н. Денисюк, Н.М. Ганжерли, Д.Ф. Черных

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 16 декабря 1999 г.

Приведены результаты эксперимента по записи и мультиплексированию сдвиговых голограмм во встречных пучках с референтным спекл-пучком. Эксперимент подтвердил возможность мультиплексирования сдвиговых спекл-голограмм посредством сдвига светочувствительного материала на расстояние, равное размеру спекла референтной волны. Эксперимент также показал, что по мере увеличения количества мультиплексированных голограмм время существования их в слое бихромированного желатина существенно уменьшается.

Запись информации с помощью трехмерных голограмм является одним из методов уплотнения информации, которое реализуется за счет многократной записи голограмм в одном и том же объеме светочувствительного материала [1]. Ранее мы приводили результаты экспериментов по исследованию нового толстослойного светочувствительного материала для регистрации голограмм на основе содержащего глицерин бихромированного желатина [2,3]. Данный материал обладает свойством самопроявления, поэтому восстановленное изображение можно наблюдать непосредственно в процессе записи голограммы. Толстослойный бихромированный желатин, чувствительный в синей области спектра, характеризуется длительным временем хранения голограмм двух плоских волн, зарегистрированных на этом материале. Однако структура реальной мультиплексной голограммы сильно отличается от структуры одиночной трехмерной решетки. Чтобы определить поведение материала в реальных условиях хранения информации, мы выполнили эксперимент по мультиплексированию голограммы во встречных пучках, используя референтный спекл-пучок.

В работах [4,5] мы приводили результаты экспериментов по мультиплексированию трехмерных сдвиговых спекл-голограмм, используя

специальную осевую схему. Преимущество такой схемы регистрации трехмерных голограмм, помимо простоты, заключается в том, что она позволяет фокусировать излучение объектной и референтной волн точно на маленький участок фотографического материала. Кроме того, эта схема менее чувствительна к вибрациям установки и степени когерентности используемого излучения по сравнению с внеосевой схемой регистрации голограмм. Мультиплексная запись основана на свойстве сдвиговой селективности голограмм, записанных с использованием спекловой референтной волны [6–8]. Согласно этому методу, мультиплексирование голограмм выполняется следующим способом. Волна излучения, рассеянного объектом № 1, регистрируется на светочувствительном материале с помощью спекл-референтной волны, сформированной прошедшим через диффузор лазерным светом. Затем светочувствительный материал сдвигается на расстояние, равное поперечному размеру спекла, сформированного референтной волной, и регистрируется голограмма объекта № 2. Третий и последующие объекты регистрируются подобным же образом, при этом используется одна и та же референтная волна. На стадии реконструкции голограммы на нее направляется та же самая референтная волна, которая использовалась при записи. Считывание требуемой страницы информации выполняется при сдвиге голограммы в предписанное положение.

Как следует из теории сдвиговой спекл-голограммы, величина шага сдвигов, сопровождающих регистрацию, и реконструкция мультиплексной голограммы определяются средней величиной спеклов референтного волнового поля на поверхности голограммы. Поперечный размер спекла δ определяется известным соотношением

$$\delta = 1.22\lambda F/d,$$

где δ — средний поперечный размер спекла, сформированного спекл-волной, прошедшей через отверстие диаметром d , которое расположено на расстоянии F от поверхности, на которой наблюдается картина спеклов.

Интенсивность восстановленной голограммой волны достигает максимума, когда картина спеклов восстанавливающей волны точно совпадает с зарегистрированной на голограмме картиной спеклов, и уменьшается пропорционально уменьшению площади перекрытия этих картин. Интенсивность восстановленной волны обращается в ноль, когда эти картины не пересекаются.

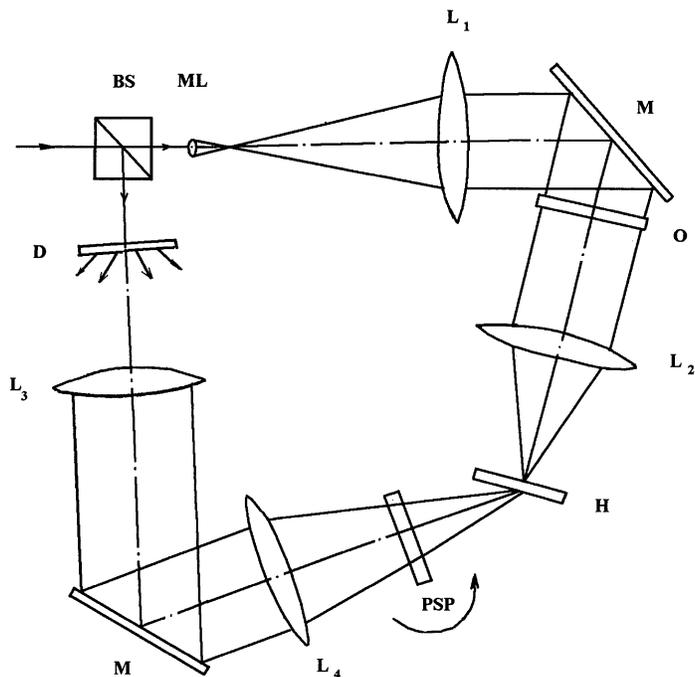


Схема регистрации голограмм во встречных пучках с референтным спекл-пучком: *BS* — расщепитель луча, *ML* — микрообъектив, *D* — диффузор, *L₁*, *L₂*, *L₃*, *L₄* — линзы, *M* — зеркала, *O* — прозрачность предмета, *PSP* — плоскопараллельная стеклянная пластинка, *H* — регистрирующая среда.

Рассмотрим экспериментальные результаты по мультиплексированию сдвиговых спекл-голограмм во встречных пучках в объемной светочувствительной среде. На рисунке представлена оптическая схема мультиплексирования голограммы. В основе ее лежат разделение и сведение световых пучков по схеме, близкой схеме интерферометра Маха-Цендера. Лазерный луч разделяется на два пучка светоделительным кубиком *BS*. Прошедшая часть света расширяется с помощью коллиматора, состоящего из микрообъектива *ML* и линзы *L₁*, и затем с помощью зеркала *M* направляется на объект-транспарант *O*. Объект-транспарант находится в передней фокальной плоскости линзы *L₂*. В зад-

ней фокальной плоскости этой линзы, осуществляющей преобразование Фурье, помещена регистрирующая среда H . Вторая часть луча, проходя через диффузор D и состоящую из двух линз L_3 и L_4 систему, формирует опорный пучок. Диффузор помещен в передней фокальной плоскости системы двух линз L_3 и L_4 , в задней фокальной плоскости которой находится регистрирующая среда H . Юстировка схемы заключается в том, чтобы объектный и опорный пучки, входя в регистрирующую среду с противоположных сторон, пересекались и интерферировали в ее объеме. Желательно, чтобы объектный пучок падал перпендикулярно к поверхности регистрирующей среды.

Мультиплексную запись можно осуществлять следующими способами: малыми смещениями референтного спекл-пучка в плоскости регистрации с помощью поворотов плоскопараллельной пластинки PSP , помещенной между системой линз и регистрирующей средой; перемещением регистрирующей среды в плоскости регистрации в двух взаимно перпендикулярных направлениях или поворотом ее в этой же плоскости; перемещением или поворотом на некоторый угол диффузора в своей плоскости. В нашем эксперименте мультиплексирование голограмм выполнялось посредством очень малых смещений картины спеклов вдоль поверхности светочувствительного материала с помощью поворотов на малые углы плоскопараллельной стеклянной пластинки PSP .

В первую очередь мы определили величину сдвига картины спеклов реконструирующей волны относительно голограммы, при которой восстановленное изображение исчезает. С этой целью в слое записывалась одиночная голограмма. Поскольку используемая оптическая схема позволяла нам концентрировать лазерный свет на малом участке светочувствительного материала, время экспонирования составляло от 3 с до 1.5 min при мощности лазера 16 mW. При реконструкции объектный пучок перекрывался затвором. Качество восстановленного изображения было хорошим, хотя уровень шума несколько выше по сравнению с уровнем шума был при наблюдении реального объекта. Эксперимент показал, что интенсивность восстановленного изображения отличается от нуля для сдвига спекл-картины на $6 \mu\text{m}$.

В эксперименте осуществлялась мультиплексная запись сдвиговых спекл-голограмм объекта-транспаранта, представляющего собой матрицу из случайно расположенных светящихся точек, имитирующих страницу битовой информации. Учитывая экспериментальный факт, что шаг сдвига "от нуля до нуля" равен $6 \mu\text{m}$, мы выбрали величину

шага равной $10\ \mu\text{m}$, что для нашего случая соответствовало повороту плоскопараллельной пластинки толщиной $1\ \text{cm}$ на 10 угловых минут. Сдвигая спекл-волну после каждой экспозиции на $10\ \mu\text{m}$, мы зарегистрировали 17 сдвиговых спекл-голограмм в одном и том же объеме толстослойного бихромированного желатина, при этом время экспонирования постепенно увеличивалось от первой голограммы ($3\ \text{s}$) к последней ($90\ \text{s}$).

При сравнении этого варианта записи голограммы с регистрацией сдвиговых спекл-голограмм по осевой схеме наблюдалось улучшение отношения сигнал-шум и некоторого увеличения числа зарегистрированных голограмм. Однако чтобы увеличить надежность многократного считывания голограмм, было необходимо уменьшить толщину плоскопараллельной пластинки так, чтобы угол поворота пластинки был равен 30 угловым минутам. При этом повышалась точность согласования положения спекл-картин референтного пучка при регистрации голограмм и при их считывании.

Разрешение в изображениях, восстановленных такой мультиплексной голограммой, было достаточно хорошим, однако шум в восстановленном изображении заметно увеличивался с ростом числа мультиплексных голограмм. Но не увеличение шума в восстановленном изображении ограничило число мультиплексных голограмм. Главной причиной было неожиданное поведение светочувствительного материала. Эксперимент показал, что даже при ограниченном числе мультиплексных голограмм период их существования уменьшился до нескольких часов. Такое поведение мультиплексной спекл-голограммы несколько нетипично, так как время существования единичной спекл-голограммы было более недели.

Эксперимент подтвердил возможность регистрации и мультиплексирования голограмм во встречных пучках со спекл-референтным пучком. При регистрации мультиплексных голограмм в толстослойном бихромированном желатине их время жизни было ограничено. Применение в качестве регистрирующей среды самопроявляющегося толстослойного бихромированного желатина позволило в реальном масштабе времени анализировать особенности данного варианта мультиплексной записи и непосредственно в ходе эксперимента варьировать время экспонирования каждой последующей записываемой голограммы, величину угла поворота плоскопараллельной пластинки, при котором исчезало восстановленное изображение предыдущей записанной голограммы, и т. д.

Исследование было проведено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 99-02-18481).

Список литературы

- [1] *Van Heerden P.J.* // *Appl. Opt.* 1963. V. 2. N 6. P. 393–400.
- [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] *Денисюк Ю.Н.* // Оптика и спектроскопия. 1998. Т. 85. № 2. С. 317–320.
- [5] *Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Писаревская С.А.* // Оптика и спектроскопия. 1999. Т. 86. № 6. С. 1023–1028.
- [6] *Марков В.Б., Дарский А.М.* // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 65. № 3. С. 661–665.
- [7] *Markov V.B., Darskii A.M.* // *Opt. Laser Techn.* 1989. V. 21. N 3. P. 198–203.
- [8] *Markov V.B., Denisyuk Yu.N., Amezquita R.* // *Optical Memory and Neural Networks.* 1997. V. 6. N 2. P. 91–98.