

07

ПОЛУЧЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ БЕЗОПОРНОЙ СЕЛЕКТОГРАММЫ, ЗАПИСАННОЙ В ТОЛСТОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ

© Ю.Н.Денисюк, Н.А.Савостьяненко

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 28 апреля 1995 г.)

Предложен метод записи и реконструкции трехмерных изображений объектов с помощью так называемой безопорной селектограммы. В соответствии с этим методом рассеянное объектом излучение фильтруется горизонтальной щелью и затем делится на две компоненты с помощью дифракционной решетки, вплотную прилегающей к толстослойной светочувствительной среде. Интерференционная картина, возникающая при взаимодействии образованных решеткой компонент, регистрируется светочувствительным слоем в виде трехмерной глубокой голограммы. Приведен теоретический анализ процессов записи и реконструкции безопорной селектограммы. Показано, что волновое поле восстановленного ею излучения воспроизводит волновое поле излучения объекта с точностью до некоторого случайного сдвига фаз. Показано, что структура трехмерной голограммы, записанная осевой точкой объекта, не зависит от длины волны вследствие ахроматизирующего действия дифракционной решетки. Приведены результаты эксперимента по записи и реконструкции безопорной селектограммы объекта — прозрачного в толстослойном светочувствительном материале реоксан. Восстановленное селектограммой изображение было локализовано в плоскости, где располагался регистрируемый объект, что подтвердило трехмерный характер этого изображения. Отмечено, что достоинствами рассмотренной безопорной селектограммы являются минимальные требования к когерентности записывающего и восстанавливающего излучения, а также нечувствительность к вибрациям установки.

Введение

Проблема регистрации голограмм с использованием референтной волны, сформированной из излучения, рассеянного регистрируемым объектом, была выдвинута еще в 60-х годах [1,2]. Такие голограммы, которые получили название "голограммы с локальным референтным лучом", имеют то потенциальное преимущество, что референтная волна в этом случае всегда когерентна по отношению к объектной волне и, следовательно, требования к когерентности излучения, регистрируемого на голограмме, могут быть значительно снижены. Очевидным недостатком таких голограмм является то, что при формировании пучка

изображение объекта должно быть уменьшено фактически до размеров маленькой точки, поскольку разрешающая способность обычной голограммы определяется размером референтного источника излучения. Интенсивность референтного пучка при этом существенно уменьшается, что и явилось одной из причин, по которым данный метод не получал дальнейшего развития.

В предложенном нами ранее методе селектограмм трехмерное изображение объекта формируется не из излучения точечного источника, а из излучения непрерывного святающегося фона за счет брэгговской селекции его компонент решетками глубокой голограммы [3-5]. Так как трехмерная решетка обладает свойством выбирать из фона семейство лучей, лежащих на поверхности некоторого конуса, то однозначное преобразование лучей фона в лучи изображения может быть осуществлено только для лучей, распространяющихся в одной плоскости. В частности, в данном случае в качестве такой плоскости выбрана горизонтальная плоскость, которая наиболее важна для визуального восприятия эффектов, характерных для объемных изображений. Физически операция выделения лучей, лежащих в горизонтальной плоскости, осуществляется с помощью узкой горизонтальной щели в соответствии с методом, предложенным С.А. Бентоном [6]. Запись селектограмм осуществлялась по методу псевдоглубоких голограмм, т.е. на обычных тонкослойных фотопластинках, наклоненных под малым углом к оптической системе и введенных в специальную оптическую систему [7,8].

Ранее нами уже отмечалось, что при записи селектограммы в качестве референтного пучка может быть использовано излучение, рассеянное регистрируемым объектом, и при этом нет необходимости уменьшать изображение этого объекта, поскольку разрешающая способность восстановленного селектограммой изображения не зависит от размеров референтного источника [3,4]. В работе [9] нами была предложена схема, в которой референтная волна формируется из объектной с помощью дифракционной решетки, расположенной непосредственно перед толстослойным светочувствительным материалом. Ниже приведен теоретический анализ процесса записи и реконструкции изображения с помощью такой "безопорной" селектограммы, а также рассмотрены результаты эксперимента.

Теория

Общая схема записи и реконструкции безопорной селектограммы приведена на рис. 1. Объект-транспарант T освещается излучением, рассеянным диффузором D , на который падают лучи \vec{l} когерентного источника. Изображенный на транспаранте объект обозначен O_0 . Рассеянное объектом излучение фильтруется горизонтальной щелью S и коллимируется линзой L таким образом, что после линзы объектная волна ψ составлена из лучей, распространяющихся в горизонтальной плоскости. За линзой непосредственно перед толстослойной светочувствительной средой V установлена дифракционная решетка G . Предположим, что эта решетка выполнена таким образом, что падающее на нее излучение направляется в $+1$ -м и -1 -м порядки дифракции, а нулевой порядок подавлен. В качестве такой решетки можно использовать,

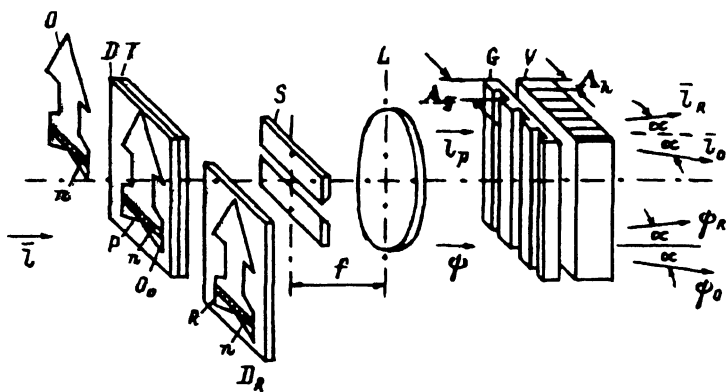


Рис. 1. Схема записи и реконструкции безопорной селектограммы.

T — транспарант; O_0 — объект, изображенный на транспаранте; D — диффузор; S — щель; L — линза; G — дифракционная решетка; R, O — мнимые изображения объекта O_0 , сформированные решеткой G ; V — толстослойный светочувствительный материал; D_R — диффузор, используемый на стадии реконструкции; l_p — луч, распространяющийся вдоль оптической оси системы; Λ_g — пространственный период решетки G ; l_R и l_a — $+1$ -й и -1 -й порядки дифракции луча l_p на решетке G ; Λ_h — пространственный период стоячей волны, возникающей в результате интерференции излучения, соответствующего лучам l_R и l_a .

в частности, рельефную фазовую решетку, разность хода между элементами рельефа которой равна π . Падающая на такую решетку волна ψ делится на две идентичные компоненты, отклоненные в горизонтальной плоскости на углы $+\alpha$ и $-\alpha$ от первоначальной волны ψ . Одну из этих компонент ψ_0 будем считать объектной, вторую ψ_R — референтной. Объектная волна ψ_0 формирует мнимое изображение объекта O , референтная волна ψ_R формирует мнимое изображение объекта R . Результат интерференции этих волн регистрируется в толстослойной светочувствительной среде V .

Реконструкция записанной таким образом селектограммы осуществляется излучением, рассеянным равномерно освещенным диффузором D_R , который установлен в плоскости мнимого изображения объекта R , образованного одним из порядков излучения дифрагированного на решетке G на этапе записи голограммы. Сама решетка при реконструкции удаляется. Проанализируем процессы записи и реконструкции селектограммы подробнее. Выделим на объекте узкую горизонтальную полоску, на которой можно различить N разрешаемых элементов (точек) объекта. При этом n -му элементу объекта, изображенного на транспаранте T , будут соответствовать n -е элементы мнимых изображений объекта O и R , сформированных решеткой G (рис. 1). Учитывая это, а также то, что распределение амплитуд изображений O и R одинаково, запишем объектную и референтную волны ψ_0 и ψ_R в виде матриц, составленных из компонент волновых полей излучения, испущенного точками объекта. Общий временной множитель $e^{i\omega t}$ опустим

$$\psi_0 = \left\| \dots a_n e^{i(\chi_n^O + \tau_n)} \dots \right\|, \quad (1)$$

$$\psi_R = \left\| \dots a_m e^{i(\chi_n^R + \tau_m)} \dots \right\|, \quad (2)$$

где a_n и a_m — значения амплитуды излучения n -й и m -й точек объекта, изображенного на транспаранте T ; τ_n и τ_m — начальные фазы излучения n -й и m -й точек этого же объекта $\chi_n^O = \chi_n^O(x)$ и $\chi_m^R = \chi_m^R(x)$ — функции распределения фаз вдоль горизонтальной координаты x системы координат xuz пространства, в котором расположена голограмма.

Вид этих функций определяется положениями, которые занимают n -й и m -й элементы мнимых изображений объекта O и R , сформированных решеткой G в пространстве x', y', z' , где расположен объект.

Принимая для простоты, что первоначальное значение диэлектрической постоянной светочувствительного вещества равно единице ($\epsilon_0 = 1$) и поэтому волновые поля в объеме V описываются выражениями (1) и (2), волновое поле излучения, воздействующего на голограмму, запишем в следующем виде:

$$\psi_H = \psi_O + \psi_R. \quad (3)$$

Значение интенсивности волнового поля в объеме V найдем, умножив ψ_H на его сопряженное значение,

$$J_H = \psi_O \psi_O^* + \psi_O \psi_R^* + \psi_R \psi_O^* + \psi_R \psi_R^*. \quad (4)$$

Предположим далее, что приращение диэлектрической постоянной светочувствительной среды V пропорционально значению воздействующей на нее интенсивности J_H ,

$$\delta\epsilon_H = \kappa J_H. \quad (5)$$

Подставим в (5) значение J_H из (4) и ограничимся рассмотрением компоненты структуры голограммы, которая соответствует второму слагаемому (4) и ответственна за последующую реконструкцию изображения объекта,

$$\delta\epsilon'_H = \kappa \psi_O \psi_R^*. \quad (6)$$

Подставляя в (6) значения ψ_O и ψ_R из (1) и (2), запишем выражение (6) в матричном виде

$$\delta\epsilon'_H = \kappa \begin{vmatrix} \vdots \\ a_n e^{i(\chi_n^O + \tau_n)} \\ \vdots \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \dots & a_m e^{-i(\chi_m^R + \tau_m)} & \dots \end{vmatrix} \quad (7)$$

Здесь n и m принимают значения от 1 до N . Умножая строчки левой матрицы на столбцы правой, найдем матрицу, описывающую структуру голограммы, записанной в объеме V ,

$$\delta\epsilon'_H = \kappa \begin{vmatrix} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots & a_n a_m e^{i(\chi_n^O - \chi_m^R + \tau_n - \tau_m)} & \dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{vmatrix} \quad (8)$$

Здесь n — номер строки, m — номер столбца, n и m меняются от 1 до N . Каждый элемент матрицы (8) описывает трехмерную решетку, полученную в результате записи картины интерференции n -й точки объекта O с m -й точкой референтного источника R . Каждый m -й столбец матрицы описывает структуру частичной голограммы, зарегистрированной в результате взаимодействия всех точек рассматриваемой строки объекта O с m -й точкой референтного источника R .

Перейдем к процессу реконструкции селектограммы. Решетка G на этом этапе отсутствует, и селектограмма освещается излучением равномерно освещенного диффузора D_R , который устанавливается в плоскости, где было локализовано мнимое изображение объекта R , сформированное решеткой G на этапе записи. В силу присущего глубокой записи свойства селективности каждая частичная голограмма, записанная в объеме V , может быть восстановлена излучением только той точки экрана D_R , положение которой точно совпадает с положением той точки референтного источника R , которая записала данную голограмму.

Таким образом, образованное решеткой G мнимое изображение объекта R является своеобразным “окном” (или “зрачком”), через который должно проходить излучение, восстанавливающее селектограмму. При этом каждая находящаяся в пределах этого зрачка точка диффузного экрана восстанавливает только ту частичную голограмму, которая записала точка референтного источника R , находящаяся на этом месте на этапе регистрации. Существенно, что, поскольку излучение каждой точки реконструирующего источника восстанавливает “свое собственное” изображение объекта и не взаимодействует с частичными голограммами, записанными другими точками, распределение амплитуд и фаз на поверхности реконструирующего источника не влияет на конфигурацию общего восстановленного изображения объекта и поэтому может быть произвольным. Что же касается тех точек реконструирующего источника, которые не совпадают с точками мнимого изображения объекта R , то они не примут участия в формировании восстановленного изображения объекта O в виду отсутствия частичных голограмм, которые могли бы преобразовать их излучение.

Рассмотрим процесс реконструкции селектограммы формально. Волновую функцию излучения, испущенного точками реконструирующего источника D_R , запишем в виде матрицы, аналогичной (2)

$$\psi'_R = \left\| \dots a_0 e^{i(\chi_m^R + \varphi_m^d)} \dots \right\|, \quad (9)$$

где a_0 — амплитуда, одинаковая для всех точек экрана D_R ; φ_m^d — некоторая случайная фаза, значение которой зависит от микроструктуры экрана.

Ранее было показано [10], что в борновском приближении, в котором собственно и проводится настоящее рассмотрение, амплитуда восстановленной трехмерной голограммой волны пропорциональна амплитуде восстанавливающей волны и величине приращения диэлектрической постоянной голограммы

$$\psi_h = k \delta \epsilon'_H \psi'_R. \quad (10)$$

Подставляя в (10) значения $\delta \epsilon'_H$ из (7) и ψ'_R из (9), запишем аналогично работе [11] процесс реконструкции объемной голограммы в

матричном виде. Такая запись одновременно учитывает брэгговский характер взаимодействия восстанавливающего излучения с частичными голограммами, записанными в объеме V ,

$$\psi_h = k\kappa \left\| \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots a_n a_m e^{i(\chi_n^o - \chi_m^R + \tau_n - \tau_m)} \dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} \vdots \\ a_0 e^{i(\chi_m^R + \varphi_m^d)} \\ \vdots \end{array} \right\|. \quad (11)$$

Умножая каждую n -ю строку левой матрицы на столбец правой матрицы, получим матрицу компонент волновой функции излучения, восстановленного безопорной селектограммой,

$$\psi_h = k\kappa \left\| \begin{array}{c} \vdots \\ a_0 a_n \sum_{m=1}^N a_m e^{i(\chi_n^o + \tau_n - \tau_m + \varphi_m^d)} \\ \vdots \end{array} \right\|. \quad (12)$$

Введем обозначение для общего мультипликативного множителя

$$A e^{i\phi} = k\kappa a_0 \sum_{m=1}^N a_m e^{i(\varphi_m^d - \tau_m)}. \quad (13)$$

По существу выражение (13) определяет комплексную амплитуду волнового поля, представляющего собою N колебаний со случайными фазами. Учитывая (13), а также (1), волновую функцию восстановленного селектограммой излучения можно записать в следующем виде:

$$\psi_h = A e^{i\phi} \psi_0. \quad (14)$$

Таким образом, восстановленное селектограммой излучение воспроизводит волновую функцию излучения записанного на ней объекта с точностью до некоторого общего фазового сдвига ϕ , а также мультипликативного амплитудного множителя A .

Одним из существенных свойств рассмотренной схемы записи безопорной селектограммы является весьма слабая зависимость зарегистрированной на ней структуры от длины волны экспонирующего излучения, что является результатом ахроматизирующего действия решетки G . Рассмотрим процесс записи точки объекта, лежащей в вертикальном сечении, проходящем через оптическую ось системы, например точки P . Испущенный этой точкой луч l_P после дифракции на

решетке G , образует лучи \bar{l}_R и \bar{l}_O , соответствующие $+1$ -му и -1 -му порядкам дифракции. Угол дифракции луча на решетке при нормальном падении этого луча определяется известным соотношением

$$\Lambda_g \sin \alpha = \lambda, \quad (15)$$

где Λ_g — пространственный период решетки, α — угол отклонения луча от нормали, λ — длина волны.

В результате интерференции лучей \bar{l}_R и \bar{l}_O возникает стоячая волна, выражение для пространственного периода которой также хорошо известно

$$2\Lambda_h \sin \alpha = \lambda, \quad (16)$$

где Λ_g — длина стоячей волны.

Из выражений (15) и (16) непосредственно следует

$$\Lambda_h = \frac{\Lambda_g}{2}. \quad (17)$$

Таким образом, оказывается, что для осевой точки изображения структура трехмерной голограммы, регистрируемой при записи селектограммы, не зависит от длины волны. Более детальный анализ показывает, что для внеосевых точек изображения зависимость от длины волны появляется, однако в области параксиальных лучей она пренебрежимо мала.

То, что безопорная селектограмма не представляет жестких требований к временной когерентности излучения, используемого при ее записи, значительно расширяет перспективы регистрации трехмерных голографических изображений в естественном свете. К сожалению, данное свойство не распространяется на пространственную когерентность излучения, с помощью которого записывается селектограмма. В частности, несинфазность излучения разных точек P_0 и P_1 приведет к тому, что образуемые этим излучением структуры, накладываясь друг на друга, сотрут рисунок голограммы, начиная с некоторого расстояния от дифракционной решетки G .

Применительно к процессу реконструкции ахроматичность структуры селектограммы означает, что селектограмма, записанная излучением какой-либо длины волны, может быть восстановлена излучением любой другой волны, а также излучением со сплошным спектром. При этом, однако, следует учитывать, что реконструкция должна осуществляться с использованием той же дифракционной решетки, с которой была записана селектограмма, поскольку лучи разных длин волн, дифрагируя на одной и той же структуре, будут отклонены на различные углы.

Эксперимент

Ниже приведены результаты эксперимента по записи и реконструкции безопорных селектограмм в реальной толстослойной светочувствительной среде. Запись селектограмм осуществлялась с помощью гелий-неонового лазера ($\lambda = 0.63$ нм) на материале реоксан [12]. Этот

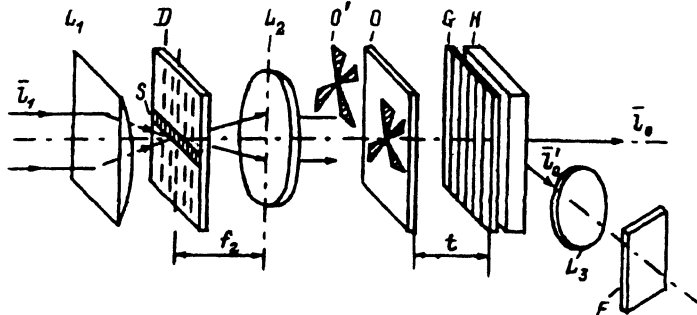


Рис. 2. Схема записи и реконструкции безпорной селектограммы.

L_1 — цилиндрическая линза; D — одномерный диффузор; O — объект-транспарант; G — дифракционная решетка; H — толстослойный светочувствительный материал; L_3 — объектив фотокамеры, регистрирующей изображение.

Светочувствительный материал представляет собою полимерную матрицу, в которой растворены антраценовое соединение, сенсibilизатор и кислород. Свет, поглощенный сенсibilизатором, инициирует переход молекул кислорода в химически активное синглетное состояние, в котором он окисляет антраценовое соединение. В результате оказывается, что в тех местах реоксана, на которые воздействовал свет, показатель преломления среды изменяется на величину порядка 10^{-4} . Так как толщина светочувствительного слоя реоксана весьма велика (порядка 1 мм), то такое малое изменение показателя преломления оказывается достаточным для того, чтобы записать голограмму, обладающую высоким значением дифракционной эффективности.

Оптическая схема установки, использовавшейся при экспериментах по записи безпорных голограмм, представлена на рис. 2. Пучок излучения лазера (лучи \bar{l}_1) фокусировался цилиндрической линзой L_1 в узкую горизонтальную полосу S на поверхности диффузора D , который обладал свойством расеивать падающее на него излучение только в горизонтальной плоскости. Такой "одномерный" диффузор был получен посредством нанесения вертикальных царапин на поверхность стекла.

Излучение полосы S , коллимированное линзой L_2 , расположенной на фокусном расстоянии f_2 от поверхности диффузора D , освещало объект-транспарант O . Прошедшее через объект излучение попадало на дифракционную решетку G , которая делила объектную волну на две компоненты: нулевой порядок \bar{l}_0 , распространяющийся вдоль оптической оси системы, и дифрагированную компоненту \bar{l}'_0 , отклоненную в горизонтальной плоскости на угол $\alpha = 20^\circ$ относительно первоначального направления. Решетка была получена посредством записи картины интерференции двух плоских волн в фотополимерном материале фирмы "Дюпон", чувствительном к красному свету.

Каждой из компонент объектной волны, претерпевшей дифракцию на решетке G , соответствовало свое мнимое изображение объекта. В частности, нулевому порядку соответствовало изображение O , дифрагированному порядку — изображение O' . Объемная картина интерференции сформированных решеткой G компонент записывалась в материал реоксан H , толщина светочувствительного слоя которого составляла 1 мм. Длительность экспозиции составляла 90 мин, при этом

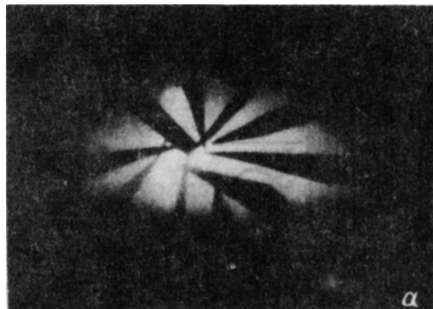


Рис. 3. Исходное изображение объекта, наблюдаемое сквозь решетку G (а), и изображение объекта, восстановленное селектограммой (б).

излучение гелий-неонового лазера с мощностью порядка 20 мВт было сконцентрировано в полосе, высота которой по вертикали была около 10 мм, а ширина по горизонтали — 40 мм.

Реконструкция записанной таким образом селектограммы осуществлялась с помощью той же оптической системы, объект O и решетка G при этом были удалены. Диффузор D сдвигался относительно своего первоначального положения для того, чтобы исключить возможность участия “голографических” эффектов в процессе реконструкции изображения. При таком способе реконструкции селектограмма освещалась излучением, проходящим через область, где ранее располагалось изображение объекта O . Это излучение восстанавливало изображение O' , сформированное компонентой объектной волны, претерпевшей дифракцию на решетке G . Восстановленное изображение регистрировалось фотокамерой, объектив которой L_3 фокусировал изображение на фотопленку F .

Следует отметить, что, как это видно из рис. 2, при проведении данного эксперимента фильтрации подвергалось не излучение, рассеянное объектом, а излучение, освещающее объект. Такая схема, использующая особенности объекта-транспаранта, позволила исключить потери света и соответственно уменьшить экспозицию.

Поскольку механизмы формирования изображения в горизонтальной и вертикальной плоскостях в данном случае существенно отличаются, то в качестве объекта нами была использована специальная нерегулярная мира, позволяющая оценить разрешающую способность во всех направлениях. Фотография исходного изображения объекта O' , которое было сформировано на стадии записи селектограммы лучами, претерпевшими дифракцию на решетке, приведена на рис. 3,а. Фотография этого же изображения, сформированного селектограммой на этапе ее реконструкции, приведена на рис. 3,б. Восстановленное изображение было локализовано в плоскости, где при записи располагалось изображение объекта O' , что свидетельствовало о трехмерном характере реконструкции (в данном эксперименте объект O отстоял от фотослоя H на расстояние $t = 40$ мм). Как это видно из рисунка, в восстановленном изображении достаточно хорошо воспроизведена тонкая структура объекта, однако контраст изображения заметно снижен по сравнению с оригиналом. Снижение контраста можно объяснить как рассеянием света в толще светочувствительного материала, так и тем, что дифракционная эффективность записи была невелика в силу некоторых свойств селектограммы, а также недостаточной экспозиции.

Наиболее характерной особенностью восстановленного изображения являлось то, что его нельзя было наблюдать невооруженным глазом, как нельзя наблюдать невооруженным глазом изображение, полученное при просвечивании транспаранта плоской волной. В отличие от случая транспаранта, просвеченного плоской волной, когда наблюдатель видит точечный источник, создавший плоскую волну, в случае безопорной селектограммы наблюдатель видит тонкую светящуюся полосу S излучения, сфокусированного на диффузор D . Однако при наблюдении через линзу, сфокусированную на объект, полоска расширяется и трансформируется в изображение объекта.

Оценим разрешающую способность восстановленного изображения. В вертикальном направлении селектограмма работает наподобие камеры обскуры и ее угловая разрешающая способность определяется угловым размером ширины полосы S . При ширине полосы 0.5 мм и фокусе линзы L_2 , равном 90 мм, угловое разрешение по вертикали $\Delta\beta$ будет равно

$$\Delta\beta = 20'. \quad (18)$$

Разрешающая способность в горизонтальном направлении определяется значением угловой селективности глубокой голограммы. В работе [4] было показано, что в кинематическом приближении, которое действительно в случае, когда дифракционная эффективность голограммы мала, угловая селективность глубокой голограммы определяется следующим соотношением

$$\Delta\alpha = \frac{\lambda}{2d \operatorname{tg} \alpha/2}, \quad (19)$$

где λ — длина волны; d — толщина слоя, в котором записана голограмма; α — угол между интерферирующими пучками.

Подставляя в выражение [4] значения $\lambda = 0.63$ мкм, $d = 1$ мм, $\alpha = 20^\circ$, найдем

$$\Delta\alpha = 6.3'. \quad (20)$$

Если учесть, что расстояние от фотослоя до объекта t было равно 40 мм, то нетрудно определить, что угловым разрешениям $\Delta\beta$ и $\Delta\alpha$ на объекте соответствовали линейные разрешения 0.22 и 0.07 мм.

В процессе эксперимента нами была проверена также возможность реконструкции безопорной селектограммы излучением естественного источника света. При этом на место, где была локализована полоска S , устанавливалась узкая щель, на которую проецировалась светящаяся нить лампы накаливания. В случае, когда селектограмма реконструировалась белым светом, восстановленное изображение было несколько размыто вследствие хроматизма системы. При реконструкции излучением, прошедшим через красный фильтр, изображение имело тот же характер, что изображение, восстановленное с помощью лазера, однако разрешение его было несколько ниже.

Заключение

Мы рассмотрели метод записи трехмерных изображений объектов, основанный на том, что рассеянное объектом излучение модулируется дифракционной решеткой, установленной непосредственно перед толстослойным светочувствительным материалом. Несмотря на то что

Этот метод не является столь универсальным, как голография, и воспроизводит эффекты объемного восприятия только в горизонтальной плоскости, он имеет ряд своих преимуществ, основным из которых является существенное снижение требований к когерентности излучения, используемого при записи. Этот эффект достигается благодаря следующим особенностям метода: объектный и референтный пучки в этом случае взаимно когерентны, так как оба эти пучка образованы из излучения, рассеянного объектом. Разность хода интерферирующих пучков минимальна настолько, что дифракционная решетка, на поверхности которой эта разность равна нулю, максимально приближена к фотослою. Снижению требований к когерентности записываемого излучения существенно способствует также и то обстоятельство, что дифракционная решетка, которая формирует интерферирующие пучки, одновременно с этим ахроматизует записываемую интерференционную картину таким образом, что в области параксиальных лучей ее структура не зависит от длины волны. Весьма немаловажным достоинством безопорной селектограммы по сравнению с голограммой является то, что безопорная селектограмма малочувствительна к вибрациям элементов записывающей установки и смещениям объекта во время съемки. Главным требованием в этом случае является исключение смещений дифракционной решетки относительно светочувствительного слоя, что весьма просто осуществить. К достоинствам данного метода следует отнести также и то, что селектограмму можно реконструировать с помощью обычного протяженного источника естественного света, так как в отличие от голограммы разрешение восстановленного селектограммой изображения не зависит от размеров реконструирующего источника. Перечисленные преимущества метода достигнуты за счет использования толстослойных светочувствительных сред. Развитие технологии изготовления таких сред будет существенно способствовать практическому использованию данного метода.

Авторы считают своей приятной обязанностью выразить благодарность Н.С. Шелехову за представление образцов материала реоксаля.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 95-02-03887-а) и Международного научного фонда Сороса (грант № И-4000).

Список литературы

- [1] *Cathey W. T.* // USA. Patent N 3415 587. 1968.
- [2] *Caulfield H.J., Harris J.I., Cobb J.G.* // Proc. IEEE. 1967. Vol. 55. P. 1758.
- [3] *Денисюк Ю.Н.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 18. Вып. 2. С. 15–21.
- [4] *Denisyuk Yu.N., Ganzherly N.M.* // Opt. Engineering. 1993. Vol. 32. N 5. P. 958–962.
- [5] *Denisyuk Yu.N., Ganzherly N.M.* // Optical Engineering. 1994. Vol. 33. N 10. P. 3307–3314.
- [6] *Benton S.A.* // J. Opt. Soc. Am. 1969. Vol. 50(10). P. 1545A.
- [7] *Денисюк Ю.Н.* // ЖТФ. 1990. Т. 60. Вып. 6. С. 59–66.
- [8] *Denisyuk Yu.N., Ganzherly N.M.* // Opt. Engineering. 1992. Vol. 31(4). С. 731–738.
- [9] *Денисюк Ю.Н.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. Вып. 2. С. 51–57.
- [10] *Денисюк Ю.Н.* // ДАН СССР. 1962. Т. 144. № 6. С. 1275–1278.
- [11] *Денисюк Ю.Н., Давыдова И.Н.* // Опт. и спектр. 1986. Т. 60. Вып. 2. С. 365–371.
- [12] *Лашков Г.И., Сузанов В.И.* // Опт. и спектр. 1978. Т. 44. Вып. 5. С. 1008–1015.