

07;12
©1995

БЕЗОПОРНАЯ СЕЛЕКТОГРАММА С ЗАПИСЬЮ В ТОЛСТОСЛОЙНОЙ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

Ю.Н.Денисюк, Н.А.Савостьяненко

Ранее нами был предложен метод записи и реконструкции трехмерных изображений с помощью так называемой безопорной селектограммы. В соответствии с этим методом непосредственно перед толстослойной светочувствительной средой устанавливается дифракционная решетка, которая расщепляет объектную волну на две компоненты. Изображение объекта при этом удваивается. В результате интерференции сформированных решеткой двух компонент объектной волны в толстослойной светочувствительной среде возникает и записывается глубокая голограмма, при этом каждое из образованных решеткой изображений объекта может рассматриваться как референтный источник по отношению к другому изображению.

Реконструкция полученной безопорной селектограммы осуществляется с помощью равномерно светящегося протяженного диффузного источника света, помещенного на место, где располагалось одно из изображений объекта. В отличие от других способов селектограмма формирует изображение за счет угловой селективности записанных на ней брэгговских решеток. Для того чтобы исключить свойственную такой решетке способность преобразования также и тех лучей, которые не участвовали в ее записи, рассеянное объектом излучение фильтруется при регистрации таким образом, что из него выделяются только лучи, распространяющиеся в горизонтальной плоскости. В результате на селектограмме записывается изображение, в котором трехмерные эффекты воспроизводятся только в горизонтальной плоскости.

Экспериментально возможность записи и воспроизведения трехмерных изображений с помощью безопорной голограммы была проверена ранее методом псевдоглубоких голограмм, при котором запись осуществляется на обычных фотопластинках [2]. 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 [3]. Этот светочувствительный материал представляет собой

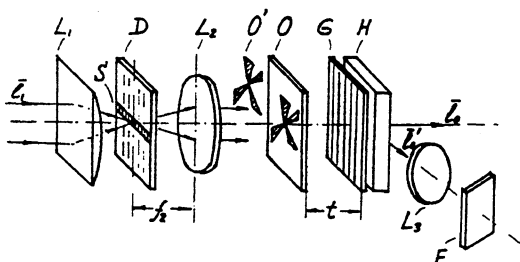


Рис. 1. Схема записи и реконструкции безопорной селектограммы: L_1 — цилиндрическая линза, D — одномерный диффузор, O — объект-транспарант, G — дифракционная решетка, H — толстослойный светочувствительный материал, L_3 — объектив фотокамеры, регистрирующей изображение.

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, использовавшаяся при экспериментах по записи безопорных голограмм, представлена на рис. 1. Пучок излучения лазера (лучи \bar{l}_1) фокусировался цилиндрической линзой L_1 в узкую горизонтальную полосу S на поверхность диффузора D , который обладал свойством рассеивать 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 $\lambda = 20^\circ$ 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 материале реоксан H , толщина светочувствительного слоя которого составляла 1 мм. Длительность экспозиции составляла 90 мин, при этом 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. 1, 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, в качестве объекта нами была использована специальная нерегулярная мишень, 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. 2, а. Фотография этого же изображения, сформированного селектограммой на этапе ее реконструкции, приведена на рис. 2, 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

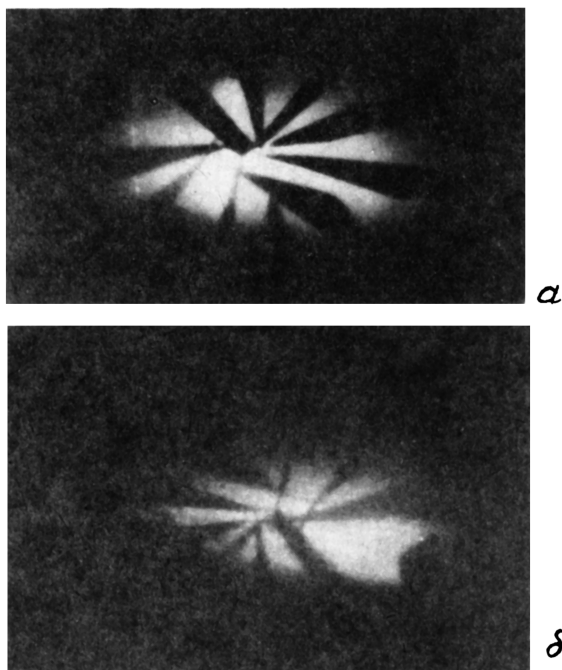


Рис. 2. Исходное изображение объекта, наблюдаемое сквозь решетку G (а); изображение объекта, восстановленное селектограммой (б).

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 так же, 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 полоску 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 полоски S . При ширине полоски 0.5 мм и фокусе линзы L_2 , равном 90 мм, угловое разрешение по вертикали $\Delta\beta$ будет равно

$$\delta\beta = 20'. \quad (1)$$

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:

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

где λ — длина волны, d — толщина слоя, в котором записана голограмма, α — угол между интерферирующими пучками. Подставляя в выражение (2) значения $\lambda = 0.63$ мкм, $d = 1$ мм, $\alpha = 20^\circ$, найдем

$$\Delta\alpha = 6.3'. \quad (3)$$

Если учесть, что расстояние от фотослоя до объекта t было равно 40 мм, то нетрудно определить, что угловым разрешением $\Delta\beta$ и $\Delta\alpha$ на объекте соответствовали линейные разрешения 0.22 и 0.7 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 и изображение, восстановленное с помощью лазера, однако разрешение его было несколько ниже.

Таким образом, мы экспериментально показали, что, модулируя объектную волну с помощью дифракционной решетки и регистрируя результирующее волновое поле в толстослойной светочувствительной среде, можно получить структуру, способную воспроизводить трехмерные изображения объектов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, а также Международного научного фонда Сороса.

Список литературы

- [1] *Денисюк Ю.Н.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 2. С. 51–57.
- [2] *Ганжерли Н.М.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 8. С. 45–50.
- [3] *Лашков Г.И., Сузанов В.И.* // Опт. и спектр. 1978. Т. 44. В. 5. С. 1008–1015.
- [4] *Денисюк Ю.Н.* // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 6. С. 59–66.

ВНЦ "ГОИ им. С.И. Вавилова"
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
4 апреля 1995 г.
