

14. Изготовление полноцветных и 3D голограмм соединением матрицы дифракционных решёток и амплитудно-модулированной маски

Ч. Б. Кайтуков, В. А. Киселёв, А. В. Яновский

ФГУП «Научно-технический центр «Атлас», Москва, Россия

Рассмотрены методы создания голограмм с визуальными эффектами полноцветного и объёмного изображений при помощи фазовых дифракционных решёток из ограниченного набора периодов. Представлена технология создания одиночных изобразительных голограмм с использованием отдельно созданных: матрицы с дифракционными решётками немодулированными по интенсивности; и амплитудной маски рассчитанной и созданной в соответствии с требуемым дизайном.

Ключевые слова: Цифровая голография, 3D изображение, полноцветное изображение.

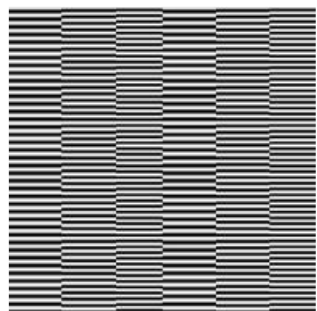
Цитирование: Кайтуков, Ч. Б. Изготовление полноцветных и 3D голограмм соединением матрицы дифракционных решёток и амплитудно-модулированной маски / Ч. Б. Кайтуков, В. А. Киселёв, А. В. Яновский // HOLOEXPO 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — С. 99–103.

Введение

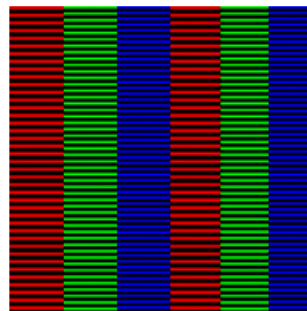
Изготовление радужных голограмм по уникальному дизайну, является сложным и дорогостоящим технологическим процессом, практически недоступным рядовому потребителю. Если исключить из голограммы сложные специальные (защитные) эффекты, то появляется возможность удешевить процесс создания голограмм и сделать его доступным для широкого распространения. Наиболее яркий визуальный голографический эффект — глубокое, объёмное, полноцветное изображение может быть создан различными методами и на различных материалах. Это может быть как классическая голограмма, записанная на оптическом столе с использованием лазера и интерференции опорного и объектного лучей, так и смоделированная цифровым образом и составленная из набора областей с регулярными дифракционными решётками.

1. Принцип создания полноцветных цифровых голограмм

Вариант создания полноцветного изображения основанного на регулярных дифракционных решётках, аналогичен способу создания полноцветного изображения на экране цветного телевизора. Цвет пиксела представляется на экране тремя компонентами (R), зелёной (G) и синей (B). Разница состоит в том, что на экране цветного телевизора, в триаде красного, зелёного и синего цветов, пиксели являются самосветящимися точечными источниками света, а в голограмме — это участки поверхности с отражательными фазовыми дифракционными решётками трёх различных периодов. Под определёнными углами освещения и наблюдения голограммы, дифракционные решётки выделяют из спектра падающего белого света те длины



а) Участок матрицы фазовых дифракционных решёток трёх различных периодов (2×2 пиксела)



б) Условное представление соответствия периодов решёток и передающегося ими цвета (2×2 пиксела)

Рис. 1. Отражательные фазовые дифракционные решётки трёх различных периодов

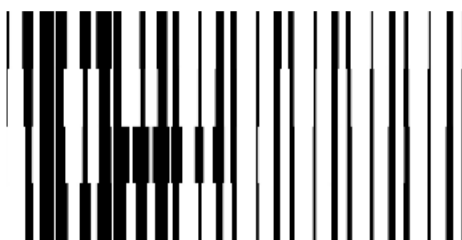


Рис. 2. Фрагмент амплитудной маски (8×4 полноцветных пикселей)

волн, которые соответствуют красному, зелёному и синему цвету. Управляя дифракционной эффективностью этих решёток можно управлять цветностью, интенсивностью и таким образом получать полноцветные изображения.

Если пренебречь особенностями восприятия глаз наблюдателя, то есть различиями в реакциях на световые компоненты разных длин волн, то при полном заполнении поверхности одинаковыми по площади пикселями с дифракционными решётками трёх периодов, будет получаться белый цвет.

В момент создания фазовых дифракционных решёток управлять их дифракционной эффективностью можно разными способами. Можно изменять экспозицию и таким образом изменять глубину создаваемого рельефа, что в свою очередь скажется на дифракционной эффективности и приведёт к модуляции интенсивности отражённого света. Голограмма, при этом, останется фазовой. Можно уменьшать площадь каждой компоненты пиксела красной-зелёной-синей (RGB) оставляя пустые (не занятые дифракционной решёткой) места и таким образом изменять одновременно и соотношение интенсивностей RGB компонент, что будет отвечать за цвет пиксела, и общую площадь занятую дифракционной решёткой, что будет отвечать за интенсивность отражённого пикселем света. Отразившийся от областей не занятых дифракционными решётками свет будет направляться в нулевой порядок, как от плоского зеркала и не будет принимать участие в построении картины наблюдаемой под углами дифракции. И в этом случае «зеркальные» области для наблюдателя будут выглядеть как чёрный

цвет. И, если исключить из рассмотрения нулевой порядок, то голограмму можно условно рассматривать как амплитудно-фазовую. Фазовая часть голограммы — это дифракционные решётки, амплитудная часть — это гладкая поверхность.

2. Принципы построения изобразительных полноцветных голограмм

Для снижения технологической сложности процесса создания голограммы предлагается разделить изготовление её фазовой и амплитудной компонент.

Фазовая компонента голограммы представляет собой подложку (пластину), полностью заполненную на поверхности дифракционными решётками трёх периодов (рисунок 1). Дифракционные решётки не модулированы ни по глубине рельефа, ни по занимаемой площади. При правильном соотношении площадей отведённых под разные цвета, такая пластина должна выглядеть как яркая белая поверхность.

Амплитудная компонента представляет собой маску с просветами определённой площади напротив пикселей матрицы дифракционных решёток каждого цвета (рисунок 2). Размеры просветов варьируются в зависимости от компонент R, G и B каждого пикселя в исходном файле изображения, и модулируют интенсивность света прошедшего к поверхности дифракционных решёток и, как следствие, направленного в сторону наблюдателя.

Совмещение фазовых решёток и амплитудной маски приводит к изменению соотношений между интенсивностью цветовых компонент пикселей и получению полноцветного изображения.

3. Создание кодирующей амплитудной маски

Кодирующая маска изготавливалась методами электронно-лучевой литографии с травлением слоя хрома на поверхности стекла либо с использованием технологии дот-матрикс на фотоэмульсии. Оба эти процесса нельзя назвать ни дешевыми, ни простыми, ни быстрыми. Но если, например, сравнить время экспонирования голограммы на электронно-лучевом литографе и время экспонирования амплитудной маски, то они будут различаться в 10 раз, так как в случае изготовления амплитудной маски мелких элементов на поверхности значительно меньше в сравнении с экспонированием дифракционных решёток.

4. Создание матрицы фазовых решёток

Для изготовления матриц фазовых решёток использовался процесс оптической шаблонной печати. Вначале на электронно-лучевом литографе экспонируется матрица дифракционных решёток на слой электронного резиста. После проявления резиста в местах экспонирования появляется открытый слой хрома или оксида железа. Этот слой является непрозрачным. Затем он протравливается до стеклянной подложки и в нём появляются прозрачные участки. В таком виде полученная пластина представляет собой фотошаблон для изготовления партии матриц фазовых дифракционных решёток. Фотошаблон накладывается на стеклянные пла-

стинки с нанесённым на них слоем фоторезиста контактным способом. Далее фоторезист за-свечивается через полученный фотошаблон и после проявления на поверхности слоя фоторезиста получается матрица фазовых дифракционных решёток.

5. Техника совмещения фазовой и амплитудной масок

Возникает технологическая задача совмещения матрицы фазовых дифракционных решёток и амплитудной маски. В экспериментах использовались голографические пиксели (RGB) размером 48×48 мкм. Пиксели делились вертикально на три участка. Компонентам отводились участки: R — 17 мкм; G — 17 мкм; и B — 14 мкм (в горизонтальном направлении). Очевидно, что совмещение матрицы решёток и амплитудной маски должно быть произведено с максимально возможной точностью. Но стоит обратить внимание, что точное позиционирование требуется только по одной координате (горизонтальной) чтобы просветы амплитудной маски, предназначенные для пропускания соответствующих цветовых компонент, позиционировались точно над соответствующими им дифракционными решётками. Вертикальные же сдвиги в этом случае не приводят к искажениям цветности в получаемой картине.

Для совмещения кодирующей маски по углу достаточно использовать эффект Муара, который возникает сам собой, без специальных усилий. При подходе к правильному углу поворота маски относительно решёток, разноцветные полосы на изображении становятся реже и шире, а при полном совпадении углов поворота они совсем пропадают, и картина окрашивается в яркие цвета. Полученные после выравнивания по углу цвета могут сразу не совпасть с заданными цветами создаваемой картины. В этом случае потребуется горизонтальный параллельный сдвиг амплитудной маски относительно матрицы дифракционных решёток для правильного совмещения компонент цвета.

6. Принцип создания 2D–3D и 3D голограмм

Для создания эффектов 2D–3D и 3D голограмм матрица фазовых решёток должна нести на поверхности по три разновидности голографических решёток (RGB) на каждый ракурс изображения [1]. Такое увеличение усложняет технологическую часть процесса, но «идеологически» является продолжением принципов принятых при получении полноцветных изображений. Из-за того, что для каждого изображения ракурса требуются три компоненты, вертикальные области решёток делятся на более мелкие области, различающиеся углами поворота дифракционных решёток и отвечающих за разные ракурсы. В этом случае потребуется совмещение кодирующей маски и матрицы дифракционных решёток уже по двум направлениям и повороту. Это обстоятельство несколько усложняет технологический процесс.

Для совмещения матрицы дифракционных решёток и амплитудной маски на ней (на маске) наносятся специальные дополнительные поля, которые находятся вне зоны изготавливаемого изображения. Поля представляют собой области с просветами только над «чистыми цветами» (R, G и B) для каждого ракурса. С их помощью появляется возможность производить совмещение по обоим направлениям без опоры на само изображение. Для решения

этой задачи становится достаточно ручной работы оператора без использования специальных оптических или иных инструментов и приспособлений.

Принципиальной же сложностью является уменьшение размеров пикселей при увеличении количества ракурсов и как следствие недостаток информационной ёмкости поверхности для подробного воспроизведения деталей в глубине изображения.

Заключение

Процесс создания радужных голограмм с визуальными эффектами объёма и полного цвета может быть разделён на два технологических этапа: 1) создание матрицы дифракционных решёток; 2) создание амплитудной маски. Изготовление матриц фазовых решёток, как заготовок под будущие голограммы, может выполняться массово на промышленном производстве. Изготовление амплитудных масок должно производиться с использованием данных конкретных изображений либо самим потребителем, либо на мелком производстве на простом технологическом оборудовании.

Список источников

- [1] **Гончарский, А. А.** Компьютерная оптика. Компьютерная голография / А. А. Гончарский, А. В. Гончарский — М. : Издательство МГУ, 2004. — 315 с.