

М. Д. Таранюк – магистрант кафедры антенн и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры
А. Ф. Крячко (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БЕЛОМ СВЕТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФРАКЦИОННОГО ЭФФЕКТА ЛИППМАНА-БРЭГА

На сегодняшний день существуют проблемы в восстановлении монохроматического изображения голограммы в лучах белого (например, солнечного) света. Для их решения возможно использование метода получения рефлексных голограмм в липпмановских фотоэмульсиях. Его основные положения были предложены еще Денисюком в 1962 г. Так же этот способ продемонстрирует возможность использования трехмерных решеток в качестве оптического аналога кристаллической решетки.

На рис. 1,а показано устройство, которое возможно использовать для получения голограмм двумерных или трехмерных предметов. При освещении голограммы лучами обычного солнечного света (или, например, светом электрического фонарика) по схеме, приведенной на рис. 1,б, происходит восстановление «одноцветного» изображения предмета.

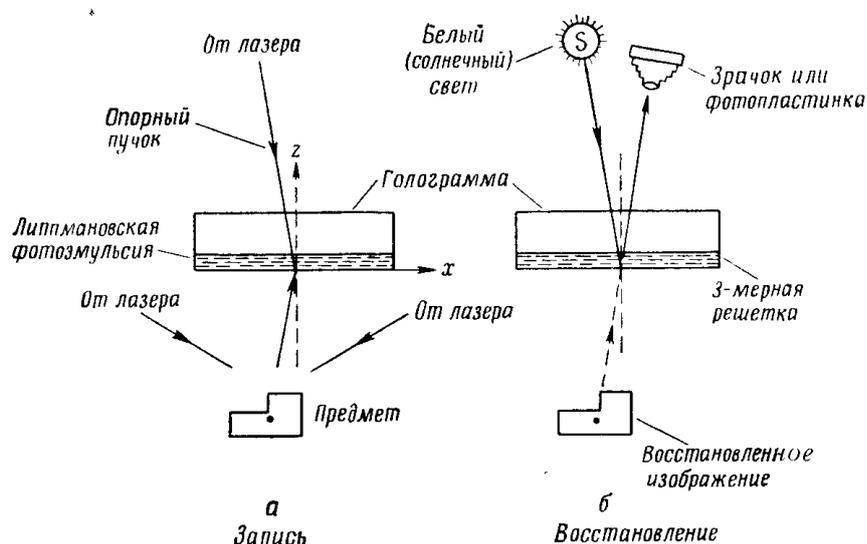


Рис. 1. Схема получения в лазерном свете решетчато-подобной голограммы (а), которая при освещении белым светом (б) восстанавливает одноцветные изображения на основе эффекта Липпмана — Брэгга [1]

Физические основы голографического метода получения изображений, иллюстрируемого на рис. 1, можно легко объяснить. Отбор одного цвета при восстановлении осуществляется благодаря многократной интерференции белого света на слоях, которые образуются в объеме эмульсии при интерференции опорного поля с полем, рассеянным от предмета. Расстояние между образующимися слоями равно $\lambda/2$, когда оба пучка в виде плоских волн падают на фотопластинку по нормали. В случае же произвольного рассеивающего предмета (см. рис. 1,а) максимумы многослойной структуры смещаются вдоль оси z в соответствии со сдвигами фаз рассеянного электрического поля относительно опорного поля, а степень почернения проявленной фотоэмульсии по глубине z для заданных координат (x) плоской голограммы будет определяться суммарной амплитудой рассеянного поля.

При восстановлении (см. рис. 1,б) голограмма освещается белым светом с той же стороны, с которой падал опорный пучок. Как и в случае дифракции на кристалле, образуется одноцветное восстановленное изображение, которое получается в соответствии с принципом восстановления волнового фронта, описанным Габором в 1948 г. [2].

Восстановленная волна характеризуется:

- локальной фазовой модуляцией, определяемой местными сдвигами отражающих слоев многослойной структуры;
- локальной амплитудной модуляцией, определяемой местными вариациями почернения голограммы;
- цветом, отбираемым при брэгговской дифракции света на слоях, образующих решетчатую структуру.

При этом расстояние между слоями можно изменять, используя специальный метод фотохимической обработки, например опуская процесс фиксирования фотоэмульсии.

Основы теории рефлексной голограммы такого типа впервые были разработаны Денисюком в 1962 г. для случая, когда предмет освещался сквозь голограмму, а не отдельным пучком, который обычно отделяется перед попаданием на голограмму (см. рис. 1,а). Денисюк описал эксперимент с зеркалами, которые он использовал в качестве предметов, освещаемых светом от ртутной лампы. Однако он не продемонстрировал никаких фотографий скорее всего потому, что у него тогда еще не было лазера, без которого очень трудно получить хорошие голограммы [3].

Интересно заметить, что в работе Хоффмана и Дойджа было описано устройство, аналогичное схеме получения рефлексной голограммы Липпмана-Брэгга [4], но предназначенное для доказательства возможности освещения обращенным опорным пучком обычной монохроматической голограммы на просвет. При этом, авторы не стремились получить рефлексные голограммы с последующим восстановлением изображений в лучах белого света, как это описано выше. В их работе введение обращенного опорного пучка имело определенные достоинства, так как оно давало возможность помещать опорное зеркало не вблизи удаленного предмета, а рядом с лазером, если, конечно, была достаточной длина когерентности света лазера.

Многими авторами были описаны наблюдавшиеся ими рефлексные изображения, которые получались при освещении лазером обычной голограммы на просвет. Необходимо, однако, отметить, что все методы в голографии были развиты на основе первой работы Габора [2].

Теоретическое описание голографического процесса, приведенное в этой статье, можно изложить, рассматривая модулированную рефлексную решетку Липпмана-Брэгга.

Пусть рассеянное поле в плоскости голограммы (плоскость x) описывается выражением $A(x)\exp i\varphi(x)$, и пусть рассеянная волна и опорный пучок падают на голограмму вдоль оси z , перпендикулярной плоскости голограммы. Интенсивность, регистрируемая голограммой, равна

$$I(x, z) \sim 1 + A(x) \cos[2kz + \varphi(x)],$$

где $k = 2\pi/\lambda$, а λ – длина волны света, используемая при получении голограммы.

При освещении голограммы плоской волной белого света в трехмерной решетке, описываемой последним уравнением, произойдет процесс дифракции Липпмана-Брэгга и восстановится волна $A(x)\exp i\varphi(x)$ только одной длины.

Нужно отметить, что восстановленные изображения должны получиться особенно яркими, если использовать такую схему, в которой рассеянное поле при получении голограммы сводится линзой в фокус на определенном расстоянии за голограммой со стороны опорного пучка. Существует, описанный в литературе, наиболее совершенный рецепт обработки липпмановской эмульсии, созданный Айвсом в 1908 г., который особенно удобен для контроля расстояния между отдельными слоями.

Метод «рефлексной голографии» имеет дальнейшее распространение, в частности получение трехмерной кристаллической решетки в фотографической эмульсии. Последнее может представлять особый интерес при использовании подобных решеток для моделирования дифракции в оптическом диапазоне и в качестве средства упрощения некоторых аспектов синтеза рентгеновских изображений, например при изучении структуры протеинов и в кристаллографии. По-видимому, метод найдет применение во многих областях интерферометрии и спектроскопии, а также в цветной голографии.

Библиографический список

1. Дж. Строук, Введение в когерентную оптику и голографию: пер. с англ.: Мир, 1967
2. Gabor D. Nature, 161, 1948.
3. Денисюк Ю.Н. Принципы голографии (лекции): Ленинград, 1979.
4. Hoffman A.S., Doidge J.G., Mooney D.G., J. Opt. Soc. Am.: 1965.