

ГОЛОГРА́ФИЯ

Авторы: Ю. Н. Денисюк, Д. И. Стаселько

ГОЛОГРА́ФИЯ (от греч. ὅλος – весь, полный и *...графия*), метод записи и восстановления волновых полей, основанный на регистрации интерференционной картины, формируемой волнами, исходящими от объекта и опорного источника. Предложен в 1948 Д. *Габором*, им же введён термин «голограмма». Для получения информации об объекте Габор предложил использовать не только амплитуду излучения объектной волны (что используется в фотографии), но и её фазу, которая определяет положение полос в картине интерференционного поля, создаваемого объектной и опорной волнами. Однако ему не удалось получить качественных голографич. изображений из-за ограничений предложенной им схемы записи голограмм и отсутствия мощных источников когерентного света. Г. пережила второе рождение, когда в 1962 Ю. Н. *Денисюк* предложил и реализовал запись голограмм в трёхмерной среде, что позволило наряду с амплитудой и фазой записать и восстановить спектральный состав излучения, а в 1962–64 амер. физики Э. Лейт и Ю. Упатниекс разработали схему записи с наклонным опорным пучком и использовали лазер в качестве источника света. В дальнейшем было показано, что голограммы отображают практически все характеристики волновых полей – амплитуду, фазу, спектральный состав, поляризацию, изменение волновых полей во времени, а также свойства сред, с которыми эти поля взаимодействуют.

Используя методы Г., можно записывать и воспроизводить волновые поля разл. физич. природы: электромагнитные (*радиоголография*), акустические (*голография акустическая*), электронные и др. Поскольку волновые поля, проходящие через материальные среды, отражают их строение, Г. можно рассматривать как способ полной записи и волновых полей, и информации об объектах.

При записи голограммы (рис. 1а) волна W_O , отражённая или рассеянная объектом O , направляется на регистрирующую среду F (напр., фотопластинку) одновременно с когерентной опорной волной W_S , испущенной источником S . Обычно опорная волна имеет простую форму (волновой фронт плоский или сферический). Возникающая в результате наложения этих волн интерференционная картина представляет собой систему поверхностей пучностей d_1, d_2, d_3, \dots , на которых интенсивность волнового поля максимальна, перемежающихся узловыми поверхностями с миним. интенсивностью (штрихи). Эта картина записывается в светочувствительной среде; после экспонирования и химич. обработки в толще светочувствит. материала образуется фотографич. изображение, распределение плотности которого моделирует распределение интенсивности в интерференционной картине. Записанная в среде интерференционная структура и является голограммой.

При восстановлении объектной волны (рис. 1б) на голограмму H направляется такая же волна W_S , какая использовалась при записи. В результате взаимодействия с голограммой падающая волна преобразуется в волну, точно совпадающую с объектной волной, записанной на голограмме. Наблюдатель, регистрирующий восстановленную голограммой волну, не может отличить её от истинной волны W_O и видит изображение объекта O' , неотличимое от оригинала. Восстановленное изображение объёмно, при смещении точки

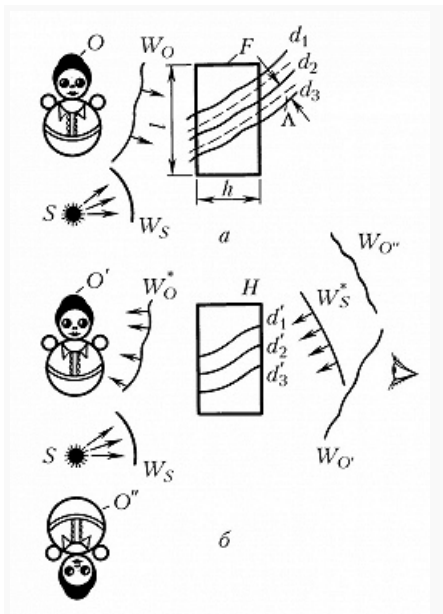


Рис. 1. Общая схема записи голограммы (а), восстановления записи (б).

наблюдения можно увидеть предмет с разных сторон и даже то, что находится за ним.

Классификация голограмм

Структура голограмм зависит от взаимного расположения объекта, опорного излучения и регистрирующей среды, от толщины h регистрирующей среды, от длины волны λ излучения при записи и восстановлении голограммы. Она характеризуется пространственным периодом интерференционной картины $\Lambda = \lambda / (\sin \theta_1 + \sin \theta_2)$, где θ_1 и θ_2 – углы падения интерферирующих волн на регистрирующую среду. В зависимости от соотношения периода Λ и толщины регистрирующей среды (фотоматериала) различают двумерные (плоские) и трёхмерные (объёмные) голограммы. Если $h \ll \Lambda$, образуется двумерная голограмма. Её отображающие свойства ограничены. Так, она кроме истинной объектной волны восстанавливает также сопряжённую ей волну и соответствующее дополнительное ложное сопряжённое изображение O''

(рис. 1б). Для восстановления качественного двумерного изображения необходим источник монохроматич. излучения. Трёхмерная голограмма, которая образуется, если толщина фотоматериала $h \gg \Lambda$, однозначно восстанавливает волновое поле объекта, без сопряжённого изображения. Трёхмерная голограмма способна также восстанавливать изображение при освещении её немонахроматич. излучением; она сама, подобно селективному интерференционному фильтру, выбирает из сплошного спектра те составляющие, которые участвовали в её записи. Если при записи изображения используется излучение, содержащее неск. длин волн, то голограммы создают цветные изображения. Отсутствие сопряжённой волны позволяет преобразовывать в объектную волну всё падающее на голограмму излучение.

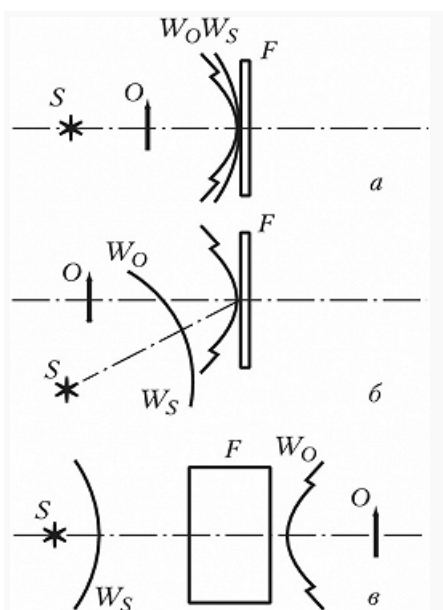


Рис. 2. Схемы записи голограммы: осевая схема Габора в попутных пучках (а), внеосевая схема Лейта в

В зависимости от взаимного расположения объекта, опорного излучения и регистрирующей среды различают неск. схем записи и соответствующих им типов голограмм. Запись в попутных пучках пропускающих голограмм производят при расположении источника опорного излучения и объекта на одной оси (осевая схема Габора, рис. 2а) или под углом к нему (внеосевая схема Лейта, рис. 2б). При записи в попутных пучках объект и источник опорного излучения располагаются по одну сторону от регистрирующей среды F . При записи по схеме Габора требования к разрешающей способности фотоматериала наименьшие, однако поле, восстановленное такой голограммой, сильно искажено из-за наложения сопряжённой волны. Этот недостаток устранён в схеме Лейта, но восстановление таких голограмм требует монохроматич. источника излучения. Во встречных пучках производят запись отражательных голограмм (схема Денисюка, рис. 2в). В этом случае объект и источник опорного излучения находятся по разные стороны от регистрирующей среды. Период Λ в этом случае минимален, а требования к разрешающей способности фотоматериала

попутных пучках (б), схема
Денисюка во встречных пучках (в);
S – источник опорного излучения; O
– объ...

наиболее высоки, зато для восстановления изображения такую голограмму можно освещать источниками естеств. света (напр., солнечным излучением) или лампой накаливания.

Источники излучения и регистрирующие

среды

Осн. требованием к источникам излучения для записи голограмм является сочетание высокой пространственной и временной когерентности с достаточно большой выходной мощностью, а к регистрирующим средам – высокая разрешающая способность (от 700 до 7000 линий/мм) с приемлемым уровнем чувствительности. В оптич. диапазоне спектра наиболее подходящими источниками являются одномодовые одночастотные лазеры. Для записи голограмм неподвижных объектов и стационарных процессов обычно используют непрерывные гелий-неоновые ($\lambda=632,8$ нм) и аргоновые ($\lambda=515,4$ или 488 нм) лазеры, а для голографирования быстропротекающих процессов и подвижных объектов – импульсные рубиновые лазеры ($\lambda=694,3$ нм) и неодимовые лазеры с преобразованием частоты во вторую гармонику ($\lambda=530$ или 532 нм).

Оптич. голограммы обычно записывают в средах, в которых в момент записи образуется сравнительно слабое (т. н. скрытое) изображение, затем его значительно усиливают (проявляют) спец. обработкой фотоматериала. Такие голограммы называют статическими. Наиболее высокочувствительными являются галогенидосеребряные среды, которые при разрешении $(5-7) \cdot 10^3$ линий/мм имеют чувствительность $10^{-3}-10^{-4}$ Дж/см². Для оперативной записи голограмм, напр. при заводском контроле изделий методами [голографической интерферометрии](#), широко используют фототермопластики. Для получения голографических оптических элементов применяют среды, способные создавать поверхностный рельеф, – фоторезисты и халькогенидные плёнки, а также слои на основе фотополимеров и бихромированной желатины, в которых могут быть сформированы объёмные интерференционные структуры. Используют также светочувствит. материалы, допускающие многократную запись: фотохромные стёкла и плёнки, магнитооптич. плёнки, электрооптич. и полупроводниковые кристаллы, плёнки на основе жидких кристаллов и др.

Существуют нелинейные среды (некоторые красители, кристаллы, пары металлов), обладающие способностью значительно изменять свои оптич. характеристики непосредственно под действием падающего на них излучения. Взаимодействие света с такими средами менее критично к когерентности излучения и составляет предмет изучения [динамической голографии](#), которая даёт возможность управлять всеми параметрами волновых полей, включая частоту излучения и пространственно-временную структуру, а также производить оперативную оптич. обработку данных.

Свойства голограмм

Осн. свойство голограмм – предельно точное восстановление изображения объекта при освещении опорной волной. Кроме этого, голограммы обладают рядом важных и уникальных свойств.

1. Голограммы могут формировать обращённую волну W_{O^*} , которая совпадает по форме с объектной волной, но идёт в обратном направлении, т. е. к объекту, а не от него (рис. 1б). Такая волна возникает, если голограмма освещается волной W_{S^*} , обращённой по отношению к опорной волне W_S , т. е. сходящейся к источнику опорного излучения S, а не расходящейся от него.

2. Восстановленное голограммой изображение способно изменять масштаб и расположение при изменении длины волны и положения источника восстанавливающего излучения, а также при изменении масштаба голограммы. Такими трансформационными свойствами обладают двумерные (плоские) голограммы.
 3. Трёхмерные голограммы не допускают изменения геометрии при считывании, но они обладают высокой угловой и спектральной селективностью.
 4. Если в каждой точке голограммы записывается информация обо всех точках объекта, то любой её участок способен восстановить исходную объектную волну (свойство делимости).
 5. Голограмма способна воспроизводить чрезвычайно широкий диапазон градаций яркости объекта (до 10^6), что также обусловлено распределённым характером записи информации на ней.
 6. Трёхмерные голограммы могут ассоциативно восстанавливать изображение объекта по его фрагменту.
 7. Яркость восстановленного изображения определяется дифракционной эффективностью, равной отношению светового потока в восстановленной волне к световому потоку, падающему на голограмму. Дифракционная эффективность может достигать 100%; она определяется типом голограммы, условиями её записи.
- Восстановленное голограммой изображение мало чувствительно к характеру изменения свойств регистрирующей среды.

Применение голографии

Г. используется в разл. областях человеческой деятельности: в машиностроении, науч. исследованиях, медицине и др. Методы голографич. интерферометрии позволяют измерять очень малые деформации деталей машин; в оптич. приборостроении широко применяют голографич. оптич. элементы – голографич. дифракционные решётки, спектральные фильтры, фокусирующие экраны, отличающиеся низким уровнем aberrаций.

Трёхмерность и высокое качество голографич. изображений используются для создания изобразительных голограмм – копий предметов искусства, голографич. портретов. Голограммы применяют для исследования движущихся частиц, капель дождя и тумана, явлений кавитации, треков ядерных частиц в пузырьковых и искровых камерах. Способность голограмм восстанавливать опорную волну источника при освещении её излучением объектной волны составляет основу [голографического распознавания образов](#) и их идентификации, что позволяет обнаруживать объекты на местности и фотоснимках, а также использовать в пропускных системах. С помощью методов радиоголографии регистрируют изображение местности сквозь туман и облака. Методами электронной, рентгеновской и нейтронной Г. изучают структуры атомных решёток и отд. атомов. Голографич. обращение волновых полей лежит в основе безабберационной передачи информации и получения изображений через оптически неоднородные среды, а также создания мощных лазеров с предельно высокой яркостью излучения. Методы Г. эффективны при изучении фотофизич., фотохимич. и нелинейных оптич. свойств веществ.

Успешное коммерч. применение Г. (защита документов, товаров, денежных знаков) основано на использовании т. н. радужных голограмм, изобретённых С. А. Бентоном (США). К перспективным областям применения Г. относятся оптич. информац. технологии, поскольку с помощью голограмм можно записывать, хранить и с

высокой скоростью обрабатывать большие массивы информации (см. [Голографические запоминающие устройства](#)). Аналогия свойств голограмм и работы мозга, связанная с распределённым характером хранения информации и ассоциативностью её обработки, служит основой для построения голографич. моделей искусственного интеллекта. Ведутся разработки, связанные с созданием голограмм в др. диапазонах электромагнитных и корпускулярных волн, а также с цифровой (компьютерной) Г., позволяющей создавать голограммы без помощи физич. волновых полей и изучать голографич. трансформацию полей без участия регистрирующих сред.

Литература

Лит.: Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. М., 1973; Островский Ю. И. Голография и ее применение. Л., 1973; Денисюк Ю. Н. Принципы голографии. Л., 1978; Бахрах Л. Д., Курочкин А. П. Голография в микроволновой технике. М., 1979; Оптическая голография: В 2 т. / Под ред. Г. Колфилда. М., 1982.

Processing math: 0%