

Голография

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

Голография (от [греческого](#), *ὅλος*—*holos* — полный + *γραφή*—*graphie* — запись) — набор технологий для точной записи, воспроизведения и переформирования [волновых полей](#). Данный метод был предложен в 1948 г. [Дэннисом Габором](#), он же ввёл термин [голограмма](#)^[1] и получил «за изобретение и развитие голографического принципа» [Нобелевскую премию по физике](#) в 1971 г.^[2]



Две голограммы Денисюка, восстановленные светом галогеновой лампы

Содержание

- [1 Физические принципы](#)
- [2 Источники света](#)
- [3 История голографии](#)
- [4 Схема записи Лейта-Упатниекса](#)
- [5 Схема записи Денисюка](#)
- [6 Регистрирующие среды](#)
 - [6.1 Галогенсеребряные фотоматериалы](#)
 - [6.2 Фотохромные кристаллы](#)
 - [6.2.1 KCl](#)
 - [6.3 Сегнетоэлектрические кристаллы](#)
 - [6.4 Голографические фотополимерные материалы](#)
- [7 См. также](#)
- [8 Примечания](#)
- [9 Ссылки](#)

Физические принципы

Когда в некоторой области пространства складываются несколько электромагнитных волн, [частоты](#) которых с очень высокой степенью точности совпадают, возникает интерференция. Когда записывают голограмму, в определённой области пространства складывают две волны: одна из них идёт непосредственно от источника (опорная волна), а другая отражается от объекта записи (объектная волна). В этой-же области размещают [фотопластинку](#) (или иной регистрирующий материал), в результате на этой пластинке возникает сложная картина полос потемнения, которые соответствуют распределению электромагнитной энергии (картине [интерференции](#)) в этой области пространства. Если теперь эту пластинку осветить волной, близкой к опорной, то она преобразует эту волну в волну, близкую к объектной. Таким образом, мы будем видеть (с той или иной степенью точности) такой же свет, какой отражался бы от объекта записи.

Источники света

При записи голограммы крайне важно, чтобы длины волн (частоты) объектного и опорного лучей с максимальной точностью совпадали друг с другом, и разность их фаз не менялась в течение всего времени записи (иначе на пластинке не запишется чёткой картины [интерференции](#)). Этого можно добиться только при выполнении двух условий:

1. обе волны изначально испущены одним источником
2. этот источник испускает электромагнитное излучение с очень стабильной длиной волны ([когерентное](#) излучение)

Крайне удобным источником света, хорошо удовлетворяющим второму условию, является [лазер](#). До изобретения лазеров голография практически не развивалась (вместо лазера использовали очень узкие линии в спектре испускания [газоразрядных ламп](#), что очень затрудняет эксперимент). На сегодняшний день голография предъявляет одни из самых жестких требований к когерентности лазеров.

Чаще всего когерентность принято характеризовать [длиной когерентности](#) — той разности оптических путей двух волн, при которой [контраст](#) интерференционной картины уменьшается в два раза по сравнению с интерференционной картиной, которую дают волны, прошедшие от источника одинаковое расстояние. Для различных лазеров длина когерентности может составлять от долей миллиметра (мощные лазеры, предназначенные для сварки, резки и других применений, нетребовательных к этому параметру) до сотен и более метров (специальные, так называемые одночастотные лазеры).

История голографии

Первая голограмма была получена в [1947](#) году (задолго до изобретения лазеров) [Деннисом Габором](#) в ходе экспериментов по повышению разрешающей способности [электронного микроскопа](#). Он же придумал само слово "голография", которым он подчеркнул полную запись оптических свойств объекта. К сожалению, его голограммы отличались низким качеством. Получить качественную голограмму без когерентного источника света невозможно.

После создания в [1960](#) году красных [рубинового](#) (длина волны 694 нм, работает в импульсном режиме) и [гелий-неонового](#) (длина волны 633 нм, работает непрерывно) лазеров, голография начала интенсивно развиваться.

В [1962](#) году была создана классическая схема записи голограмм Эмметта Лейта и Юриса Упатниекса из [Мичиганского Технологического Института](#) (голограммы Лейта-Упатниекса) ^[3], в которой записываются пропускающие голограммы (при восстановлении голограммы свет пропускают через фотопластинку, хотя на практике некоторая часть света от неё отражается и также создаёт изображение, видимое с противоположной стороны).

В [1967](#) году [рубиновым](#) лазером был записан первый голографический портрет.

В результате длительной работы в [1968](#) году [Юрий Николаевич Денисюк](#) получил высококачественные (до этого времени отсутствие необходимых фотоматериалов мешало получению высокого качества) голограммы, которые восстанавливали изображение, отражая белый [свет](#). Для этого им была разработана своя собственная схема записи

голограмм. Эта схема называется схемой Денисюка, а полученные с её помощью голограммы называются голограммами Денисюка.

В [1977](#) году Ллойд Кросс создал так называемую мультиплексную голограмму. Она принципиально отличается от всех остальных голограмм тем, что состоит из множества (от десятков до сотен) отдельных плоских ракурсов, видимых под разными углами. Такая голограмма, естественно, не содержит полную информацию об объекте, кроме того, она, как правило, не имеет вертикального [параллакса](#) (т.е. нельзя посмотреть на объект сверху и снизу), но зато размеры записываемого объекта не ограничены длиной когерентности лазера (которая редко превышает несколько метров, а чаще всего составляет всего несколько десятков сантиметров) и размерами фотопластинки. Мало того, можно создать мультиплексную голограмму объекта, которого вовсе не существует! Например, нарисовав выдуманный объект с множества различных ракурсов. Мультиплексная голография превосходит по качеству все остальные способы создания объёмных изображений на основе отдельных ракурсов (например, линзовые растры), однако она всё равно далека от традиционных методов голографии по реалистичности.

Схема записи Лейта-Упатниекса

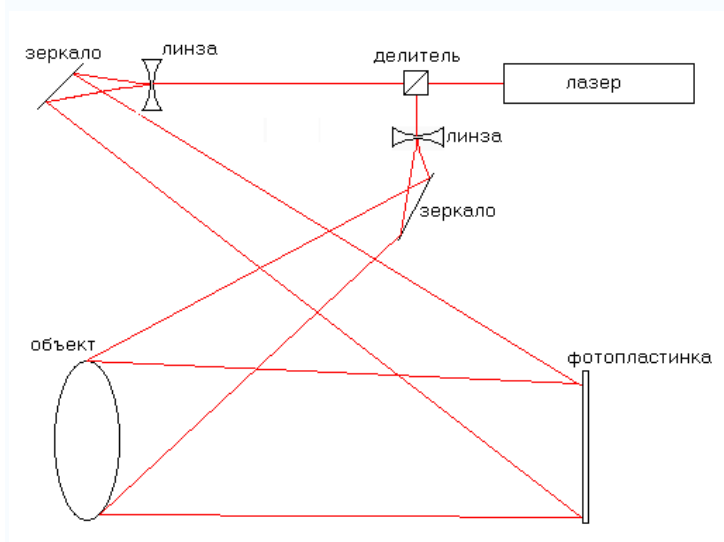


Схема Лейта-Упатниекса

В этой схеме записи ^[4] луч лазера делится специальным устройством, делителем (в простейшем случае в роли делителя может выступать любой кусок стекла), на два. После этого лучи с помощью линз расширяются и с помощью зеркал направляются на объект и регистрирующую среду (например, фотопластинку). Обе волны (объектная и опорная) падают на пластинку с одной стороны. При такой схеме записи формируется пропускающая голограмма, требующая для своего восстановления источника света с той же длиной волны, на которой производилась запись, в идеале — [лазера](#).

Схема записи Денисюка

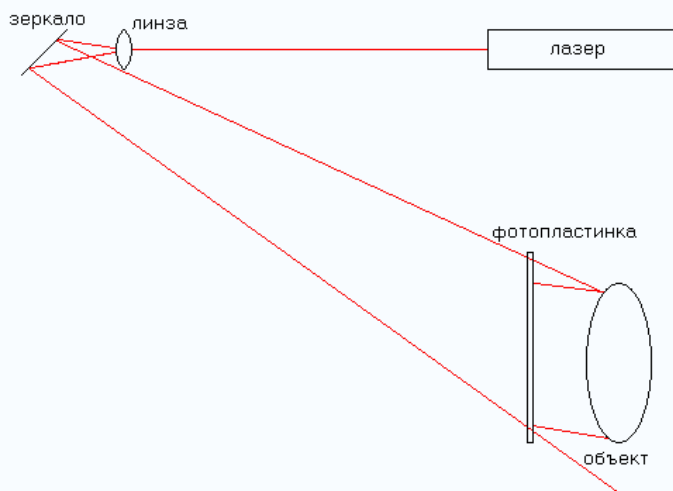


Схема Денисюка

В 1962 г. русский физик [Юрий Николаевич Денисюк](#) предложил перспективный метод голографии с записью в трехмерной среде. ^[5] В этой схеме луч лазера расширяется [линзой](#) и направляется [зеркалом](#) на [фотопластинку](#). Часть луча, прошедшая через неё, освещает объект. Отраженный от объекта свет формирует объектную волну. Как видно, объектная и опорная волны падают на пластинку с разных сторон (т.н. схема на встречных пучках). В этой схеме записывается отражающая голограмма, которая самостоятельно вырезает из сплошного спектра узкий участок (участки) и отражает только его (т.о. выполняя роль светофильтра). Благодаря этому изображение голограммы видно в обычном белом свете [солнца](#) или лампы (см. иллюстрацию в начале статьи). Изначально голограмма вырезает ту длину волны, на которой её записывали (однако в процессе обработки и при хранении голограммы [эмульсия](#) может менять свою толщину, при этом меняется и длина волны), что позволяет записать на одну пластинку три голограммы одного объекта [красным](#), [зелёным](#) и [синим](#) лазерами, получив в итоге одну цветную голограмму, которую практически невозможно отличить от самого объекта.

Эта схема отличается предельной простотой и в случае применения [полупроводникового лазера](#) (имеющего крайне малые размеры и дающего расходящийся пучок без применения [линз](#)) сводится к одному лишь лазеру и некоторой основы, на которой закрепляется лазер, пластинка и объект. Именно такие схемы применяются при записи любительских голограмм.

Регистрирующие среды

Голография крайне требовательна к разрешающей способности фотоматериалов. Расстояние между двумя максимумами [интерференционной](#) картины того же порядка, что и длина волны лазера, а последняя чаще всего составляет 632,8 нм для гелий-неонового лазера, 532 нм для [неодимового](#) лазера на второй гармонике, 514 нм и 488 нм для гелий-аргонового лазера. Таким образом, это величина порядка 0.0005 мм. Чтобы получить чёткое изображение картины интерференции, потребовались регистрирующие среды с [разрешающей способностью](#) до 6000 линий на миллиметр (при записи по схеме на встречных пучках с углом схождения лучей 180°).

Регистрирующие среды подразделяются на плоские (двумерные) и объёмные (трёхмерные или толстые). Для классификации используется параметр, который иногда в литературе называют критерий [Клейна](#):

$$Q = \frac{2\pi\lambda d}{n\Lambda^2},$$

где λ — длина волны; d — толщина слоя; n — средний коэффициент преломления слоя; Λ — расстояние между интерференционными плоскостями.

Объёмными (толстыми) голограммами считаются такие, у которых $Q > 10$. И наоборот, голограмма считается тонкой (плоской), когда $Q < 1$.

Галогенсеребряные фотоматериалы

Основным фотоматериалом для записи голограмм являются специальные фотопластинки на основе традиционного [бромида серебра](#). За счёт специальных присадок и специального механизма проявления удалось достичь разрешающей способности более 5000 линий на миллиметр, однако за это приходится платить крайне низкой чувствительностью пластинки и узким спектральным диапазоном (точно подобранным под излучение лазера). Чувствительность пластинок настолько низкая, что их можно выставить на несколько секунд под прямой солнечный свет без риска засветки.

Кроме того, иногда применяются фотопластинки на основе бихромированной [желатины](#), которые обладают ещё большей разрешающей способностью, позволяют записывать очень яркие голограммы (до 90% падающего света преобразуется в изображение), однако они ещё менее чувствительны, причём они чувствительны только в области коротких волн (синий и, в меньшей степени, зелёный участки [спектра](#)).

На данный момент в мире существует только одно ^[источник не указан 184 дня] промышленное (кроме некоторого количества мелких) производство фотопластинок для голографии — российская «Компания [Славич](#)».

Некоторые схемы записи позволяют писать и на пластинках с меньшей разрешающей способностью, даже на обычных фотоплёнках с разрешением порядка 100 линий на миллиметр, однако эти схемы имеют массу ограничений и не обеспечивают высокого качества изображения.

Фотохромные кристаллы

Наряду с фотографическими мелкозернистыми галогенсеребряными средами, применяются так называемые [фотохромные среды](#), изменяющие спектр [поглощения](#) под действием записывающего света.

КСІ

Одними из эффективнейших среди фотохромных кристаллов являются [щёлочно-галоидные кристаллы](#), из которых наилучшие результаты были получены на [аддитивно окрашенных](#) кристаллах [хлорида калия](#) (КСІ). Голограммы, записанные на таких кристаллах, достигают 40% [относительной дифракционной эффективности](#) при теоретически возможной в данной среде 60%. При этом голограммы в данном материале весьма толстые (толщиной до нескольких миллиметров, и могут в принципе достигать единиц сантиметров). Голографическая запись в аддитивно окрашенных кристаллах КСІ базируется на фототермическом F-X преобразовании [центров окраски](#), то есть фактической [коалесценции](#) одиночных [анионных вакансий](#) в более крупные кластерные

образования размером десятки [нанометров](#). При этом голографическая запись в таких кристаллах реверсивна (обратима) и очень устойчива по времени ^[6].

Также возможна голографическая запись с помощью легирования кристаллов соответствующей примесью. Возможно использовать для этой цели эффект компенсационного влияния введенных в АО КСl катионных (ионы Ca^{++}) и анионных (ионы OH^-) примесей на процесс фототермического преобразования F-центров. Показано, что просветление при этом в максимуме полосы поглощения F-центров достигает 90% и не сопровождается образованием центров, обуславливающих поглощение в видимой области спектра. Разработан механизм такого влияния, основанный на фотохимических реакциях, конечные продукты которых поглощают в УФ-диапазоне. Обосновано, что ключевую роль в рассматриваемом явлении играют бивакансии и комплексы $\text{Ca}^{++}(\text{OH}^-)_2$ – катионная вакансия. На основе полученных результатов разработана новая фотохромная система для формирования голограмм, основанная на эффекте компенсации влияния катионных и анионных примесей ^[7].

Сегнетоэлектрические кристаллы

При голографической записи, в качестве регистрирующей среды, так же широко используются [сегнетоэлектрические](#) кристаллы. В основном это ниобат лития – LiNbO_3 . Явление изменения показателя преломления под действием света вызвано электрооптическим эффектом. При записи голограмм сегнетоэлектрические кристаллы обладают теми же преимуществами, что и фотохромные материалы. Кроме того, после множества циклов "запись – стирание" не наблюдается эффекта усталости. Поскольку получаемые голограммы являются фазовыми, их дифракционная эффективность может быть на порядок выше, чем у голограмм на фотохромных материалах.

Однако, эти кристаллы обладают недостатками присущими фотохромным материалам. Основной проблемой в данном случае является нестабильность голограммы, которая не фиксируется в отличие от обычных фотослоев. Другая трудность состоит в низкой величине голографической чувствительности. ^[8]

Голографические фотополимерные материалы

В последние годы интенсивно разрабатываются регистрирующие среды на базе голографических фотополимерных материалов, представляющих собой многокомпонентную смесь органических веществ, нанесенную в виде аморфной пленки толщиной 10-150 мкм на стеклянную или пленочную подложку. Фотополимерные пленки менее дорогостоящие чем кристаллы ниобата лития, менее громоздки и имеют по сути большую величину изменения коэффициента преломления, что приводит к большим значениям дифракционной эффективности и большей яркости голограммы. Однако, с другой стороны ниобат лития, из-за его толщин, способен сохранять большие объемы информации, чем фотополимерные пленки толщины которых ограничены.

Поскольку фотополимеры не обладают зернистым строением, то разрешающая способность такого материала достаточна для сверхплотной записи информации. Чувствительность фотополимера сравнима с чувствительностью фотохромных кристаллов. Записанные голограммы являются фазовыми, что позволяет получать высокую дифракционную эффективность. Такие материалы позволяют хранить информацию длительное время, устойчивы к воздействию температур, а также отличаются улучшенными оптическими характеристиками. ^[9]



Часть [диска](#) с "яблоком" на голограмме [акцизной марки](#). Украина, ок. [2000](#) г.

См. также

- [Любительская голография](#)
- [Акцизные марки Украины](#)

Примечания

1. [↑](#) Gabor D. A new microscopic principle // Nature.-1948.-V.161.-PP.777-778.
2. [↑](#) [Информация о Дэннисе Габоре с сайта Нобелевского комитета \(англ.\)](#)
3. [↑](#) Leith E. N. and Upatnieks J. Wavefront reconstruction with diffused illumination and three-dimensional objects // J. Opt. Soc. Am.—1964.—V. 54.—P.1295.
4. [↑](#) [Лейт Э., Упатниекс Ю. ФОТОГРАФИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА // Успехи физических наук.-1965.-Вып. 11.-С.521-538](#)
5. [↑](#) [Денисюк Ю. Н., Суханов В. И. Голограмма с записью в трехмерной среде как наиболее совершенная форма изображения // Успехи физических наук.-1970.-Вып. №6.](#)
6. [↑](#) [Д. А. Владимиров и др. Оптимизация записи голограмм на аддитивно окрашенных кристаллах KCl // Оптика и спектроскопия.-2005.-Т.99, № 1.-С.147-150.](#)
7. [↑](#) [Vladimirov D.A., Mandel' V.E., Popov A.Yu., Tyurin A.V. Photothermal Conversion of F-centers in Additively Colored Potassium Chloride Crystals with Cationic and Anionic Impurities // Ukrainian Journal of Physical Optics : жур.. — Львов: 2004. — Т. 5. — № 4. — С. 131-135.](#)
8. [↑](#) Р. Кольер, К. Беркхард, Л. Лин "Оптическая голография" Изд. "Мир", Москва, 1973, 450 с.
9. [↑](#) T. J. Trout, J. J. Schmieg, W. J. Gambogi, A. M. Weber "Optical photopolymers: design and applications" //Adv. Mater., 1998, v.10, №15, pp. 1219-1224.

Ссылки

- [Голография - Виртуальная Галерея](#) — крупнейший в СНГ сайт, посвященный голографии
- [=24 Голографические фотопластинки] (завод «Славич»)
- [Голографическая студия в Санкт-Петербурге](#)
- [Форум по голографии](#) (есть раздел на русском)
- [Изобразительная голография в Перми и Новосибирске](#)
- [Частная выставка "Мировая Голография"](#)
- [Игорь Осколков Анимированная голография. Компьютерра](#) (15 сентября 2009 года). Проверено 24 сентября 2009.

Источник

«<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F>»

Категория: [Голография](#)