

## ЛЕКЦИЯ

по учебной дисциплине «Судебная фотография»  
по специальности 030502.65 «Судебная экспертиза»

### Тема 6. Цифровая фотография, голография.

- 1.Бессеребряная фотография.**
- 2.Цифровая фотография.**
- 3.Голография**

# **1.Бессеребряная фотография.**

Бессеребряная фотография представляет собой совокупность методов получения и воспроизведения фотографических изображений на основе применения светоприемников, не содержащих соединений серебра.

В бессеребряной фотографии используются:

- фотохимические процессы в веществе, растворенном в связующей среде (диазотипия, везикулярный процесс);
- фотохимические процессы непосредственно в полимерных пленках, тонких поликристаллических слоях, силикатных или полимерных стеклах (фотохромный процесс, термография);
- фотоэлектрические процессы на поверхности тонкого слоя электризованного полупроводника (электрофотография);
- явление анизотропии жидких кристаллов, ферромагнитных пленок (магнитная видеозапись визуальной информации).

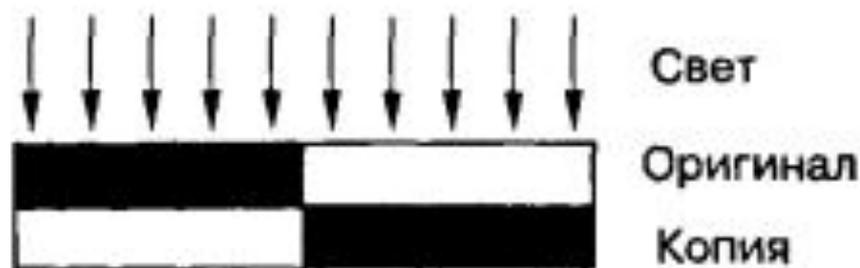
Достоинствами бессеребряных материалов являются:

- простая одно- или двухступенчатая обработка;
- короткое время получения изображения (0,1 – 10 с);
- средняя (100 - 500 лин/мм) и высокая (более 500 лин/мм) разрешающая способность (исключение составляют термографические материалы, имеющие низкую разрешающую способность, но высокое быстродействие);
- сравнительно низкая стоимость полученных фотографических изображений (дiazотипные и везикулярные пленки в 4 раза дешевле черно-белых галогеносеребряных фотоматериалов);
- реверсивность фототермопластических и фотохромных материалов (допускают многократное повторение циклов "запись-воспроизведение-стирание" изображения).

## Недостатки бессеребряных материалов:

- - низкая светочувствительность по сравнению с традиционными фотоматериалами, смещение максимума спектральной чувствительности в УФ-диапазон;
- - электрофотографические и фототермопластические материалы при такой же спектральной чувствительности, как у традиционных фотоматериалов плохо передают полутона и имеют "зашумленность" изображения;
- - не применяются для прямой фотосъемки, на них не возможно или затруднительно получить цветное изображение.
- Бессеребряные материалы применяют, как правило, при микрофильмировании, копировании и тиражировании документов.

**Светокопирование** — это процесс, в котором используется свойство солей трехвалентного железа превращаться в соли двухвалентного железа под действием света. Бумага пропитывается железоаммониевой солью лимонной кислоты и калиевой солью железосинеродистой кислоты. Затем бумага экспонируется контактным способом через оригинал (например, чертеж на кальке) очень ярким светом до тех пор, пока не образуется слабовидимое изображение (рис. 7.1). Там, где свет попадает на бумагу, соединения трехвалентного железа переходят в соединения двухвалентного железа. При погружении бумаги в воду для проявления соли трехвалентного железа преобразуются в



**Рис. 7.1.** Схема светокопировального процесса

цианидное соединение синего цвета, образуя негативное изображение.

Фиксирование не требуется, хотя изображение не особенно стабильно в течение длительного времени. С помощью светокопирования при использовании других химических соединений может быть получено позитивное изображение.

Диазотипия — это фотохимический процесс, широко применяемый для получения копий. В одной из ее форм определенное диазосоединение (органическое соединение), проявляющее вещество (обычно кислота), а также краситель используются для образования на бумаге красителя, создающего изображение.

Диазосоединение после экспонирования ультрафиолетовым или фиолетовым светом через прозрачный или полупрозрачный оригинал после погружения в щелочь превращается в бесцветное соединение, неэкспонированные участки под действием красителя окрашиваются. Получается позитивное изображение (рис. 7.2).

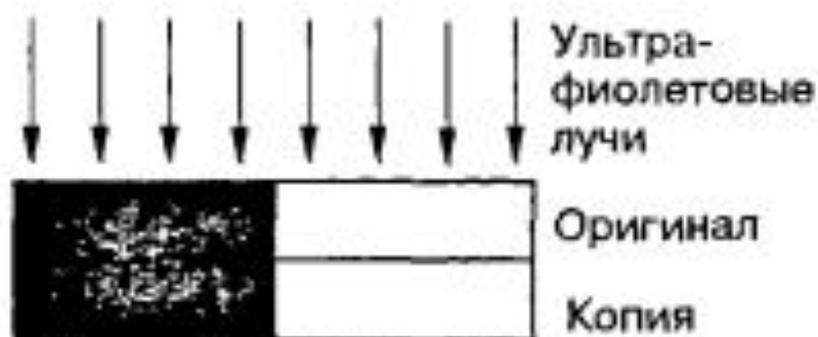
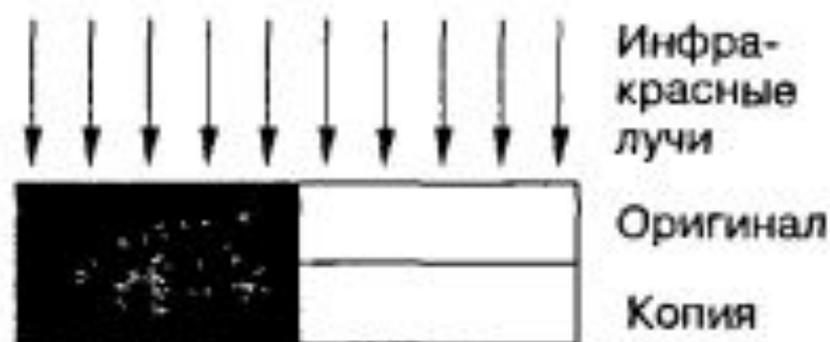


Рис. 7.2. Схема диазотипии

Экспонирование и проявление при диазотипии могут осуществляться как одновременно, так и раздельно. Фиксирование не требуется, хотя диазопозитив не подлежит длительному хранению, особенно на свету.

**Термография** – фотохимический процесс получения копий. В термографическом процессе термографическая бумага через оригинал экспонируется инфракрасными лучами (рис. 7.3).

Термографическая бумага для получения копий пропитана веществом, химический состав и цвет которого необратимо изменяются при нагревании. Поскольку темные участки оригинала поглощают больше энергии излучения, чем светлые об-

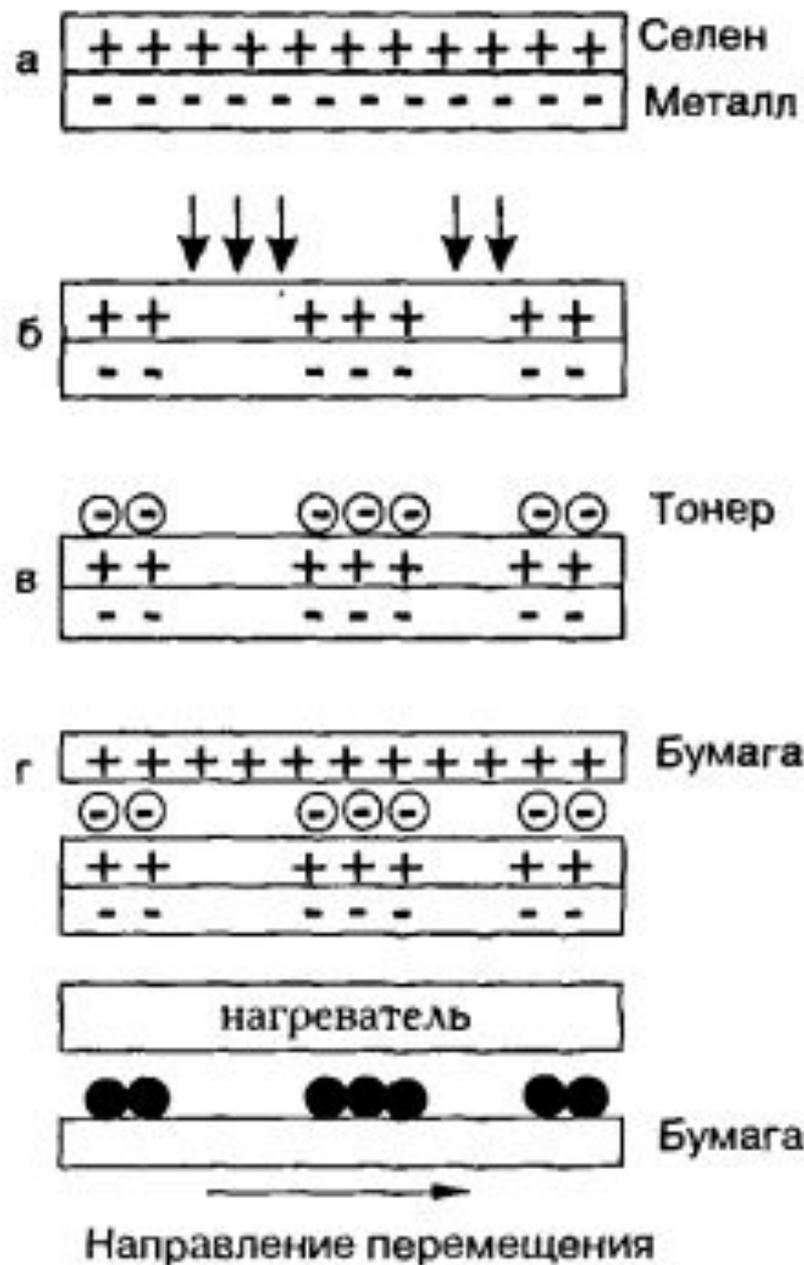


**Рис. 7.3.** Схема термографического процесса

ласти, термографическая бумага при контакте с темными участками оригинала сильнее нагревается и изменяет цвет, образуя позитивное изображение. В рассмотренном процессе фотоны взаимодействуют не с атомами фоточувствительной среды, а с агрегатными скоплениями атомов. Фиксирование изображения не требуется, хотя при длительном хранении, особенно в местах с повышенной температурой воздуха, потемнение термографической бумаги происходит по всей поверхности.

*Электрофотографические процессы* принято подразделять на ксерографию и электронную запись информации (фотоприемники видеокамер и цифровых фотоаппаратов). В качестве светочувствительного материала в электрофотографии используются фотопроводники, которые в темноте являются изоляторами, а под действием света становятся электрическими проводниками.

Принцип получения изображения в *ксерографии* состоит в следующем (рис. 7.4).



**Рис. 7.4.** Схема ксерографического процесса: а) зарядка; б) экспонирование; в) проявление; г) фиксирование

Металлический цилиндр с нанесенным на него слоем светочувствительного фотопроводника (например селена) вращается вблизи коронирующего проводника. Коронирующий проводник представляет собой металлическую нить, находящуюся под высоким напряжением. Электрическое поле проводника вызывает электризацию полупроводникового слоя. Свет, отраженный от оригинала, освещает цилиндр. На светлых участках заряды нейтрализуются, а на темных — сохраняются, создавая «скрытое изображение».

В стадии проявления на цилиндр напыляется угольный порошок, смешанный с термочувствительной смолой, или порошок окрашенной синтетической смолы. Порошок, электризуемый трением, осаждается на заряженные участки цилиндра. Листы бумаги электризуются противоположным зарядом и, находясь в контакте с цилиндром, притягивают порошок с цилиндра на свою поверхность. Процесс фиксации завершается прохождением бумаги под излучателем тепла, который расплавляет смолу и закрепляет перенесенный порошок на бумаге. На разных стадиях ксерографического процесса используется свойство разноименных зарядов притягиваться и одноименных — отталкиваться.

Ксерография дает удовлетворительные копии штриховых оригиналов и печатных материалов, однако большие темные поверхности оригинала воспроизводятся плохо, поскольку остаточные заряды на них отталкиваются друг от друга и выстраиваются по периметру участка. Отсутствие зарядов и, следовательно, порошка в центре таких участков приводит к их просветлению.

Копия является позитивом оригинала, зеркально отображенным слева направо, для устранения обращения изображения используют зеркало, которое отражает свет от оригинала на цилиндр.

*Электронная запись информации* используется в видеокамерах и цифровых фотоаппаратах. Она существенно отличается от других светорегистрирующих процессов тем, что изображение, сформированное на фоторегистрирующей поверхности, сканируется строчно-кадровым способом и регистрируется последовательно во времени. Полученная визуальная информация после специальной обработки может быть использована:

- для непосредственного отображения на экране монитора;
- для записи на магнитных носителях информации;
- для передачи на большие расстояния по телевизионным линиям связи.

В первых видеокамерах в качестве фотодатчиков применялись суперрортикон и видикон, представляющие собой электровакуумные приборы, внутри которых на плоскую поверхность нанесен фотопроводник. На эту поверхность объективом фокусируется изображение регистрируемых предметов, а считывание информации осуществляется электронным лучом построчно слева направо и сверху вниз со всей площади фотопроводника (рис. 7.5). Для управления электронным лучом используется отклоняющая система.

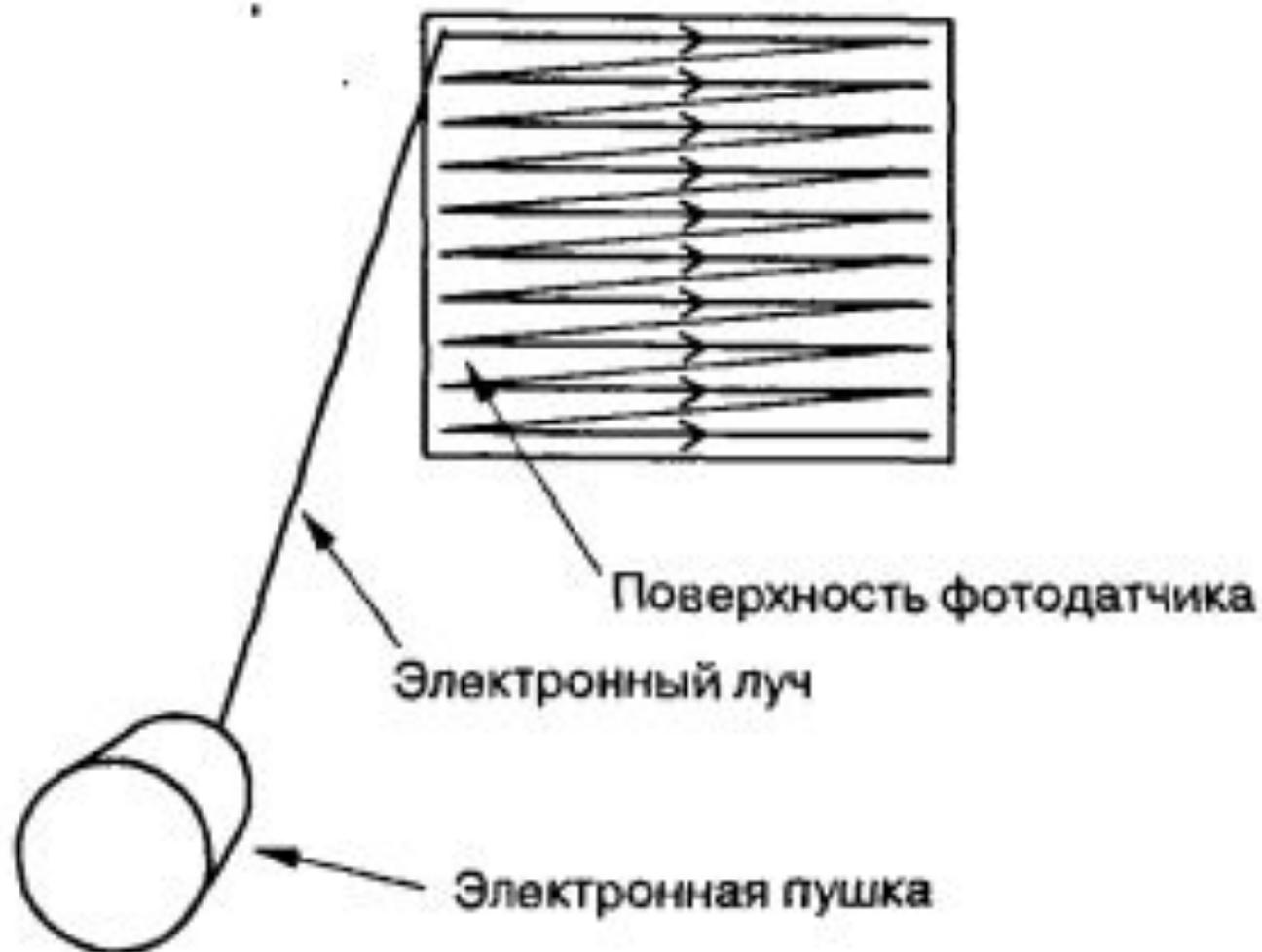
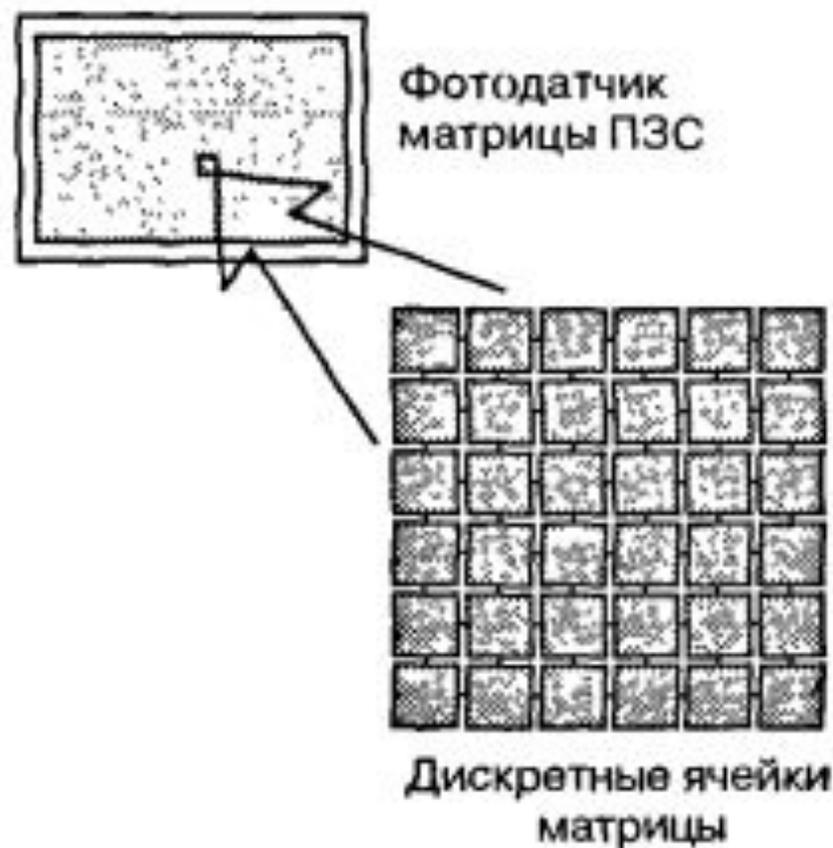


Рис. 7.5. Принцип работы видикона

В современных видеокамерах широко применяется другой тип фотодатчика, выполненного по микроэлектронной технологии в виде набора полупроводниковых светочувствительных преобразователей на приборах с зарядовой связью (ПЗС). В литературе также встречается обозначение такого датчика в форме ССD, что является английской аббревиатурой словосочетания *charge coupled device* (прибор с зарядовой службой).

Фотопроводящая поверхность, используемая для регистрации изображения, состоит из дискретных ячеек, электрически изолированных друг от друга и объединенных в матрицу (рис. 7.6). Вместо электронного луча используется электронная коммутация сигналов ячеек с помощью управляющей микросхемы, которая в большинстве случаев размещается в корпусе самого фотодатчика. Датчик преобразует изображение в цифровой электрический сигнал, аналогичный сигналам, применяемым в компьютерах.

В зависимости от конструкции матрицы ПЗС получаемое изображение может быть или черно-белым, или цветным. Для получения цветного изображения либо используют три



**Рис. 7.6.** Фотодатчик матрицы ПЗС

матрицы по одной для зеленого, красного и синего цвета, либо цветные фильтры размещают перед датчиком, либо цветные фильтры встроены в ячейки датчика.

Фотодатчики, выполненные в виде матрицы ПЗС, используются не только при съемке видеокамерами, но и в цифровой фотографии. С их помощью формируется изображение в цифровых фотоаппаратах. Основной характеристикой датчика является число точек изображения (пикселей), получаемых с его помощью. *Pixel (picture element)* — пиксел — одна из точек, формирующих изображение. В цифровых фотоаппаратах высшего класса число точек

изображения составляет несколько миллионов. Цифровые любительские фотоаппараты среднего класса образуют 400–500 тысяч точек изображения, что считается достаточным для фотографии формата 10 × 15 см.



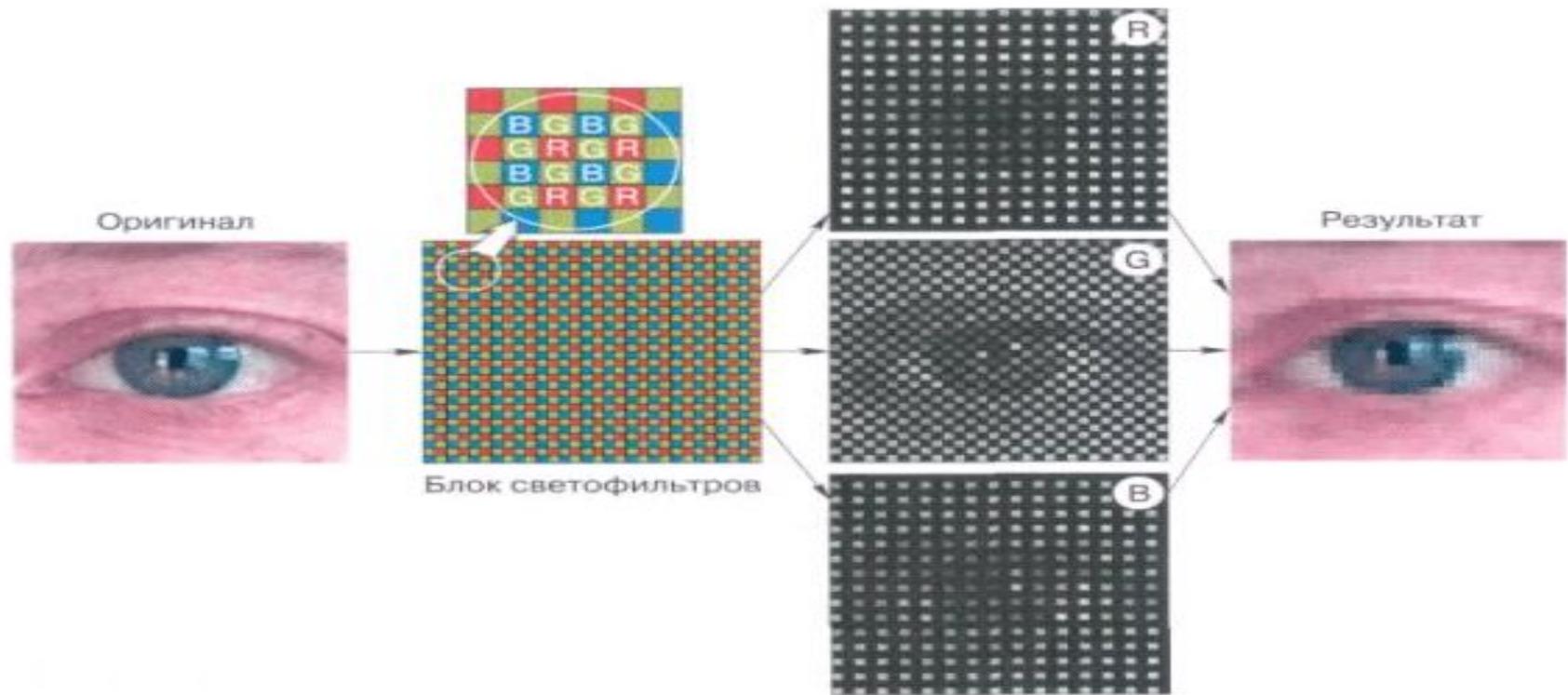
## **2.Цифровая фотография.**

Цифровая фотография (электронная, компьютерная) – одна из технологий фотографии, основанная на использовании оптоэлектронных светоприемников и цифровой обработки изображений.

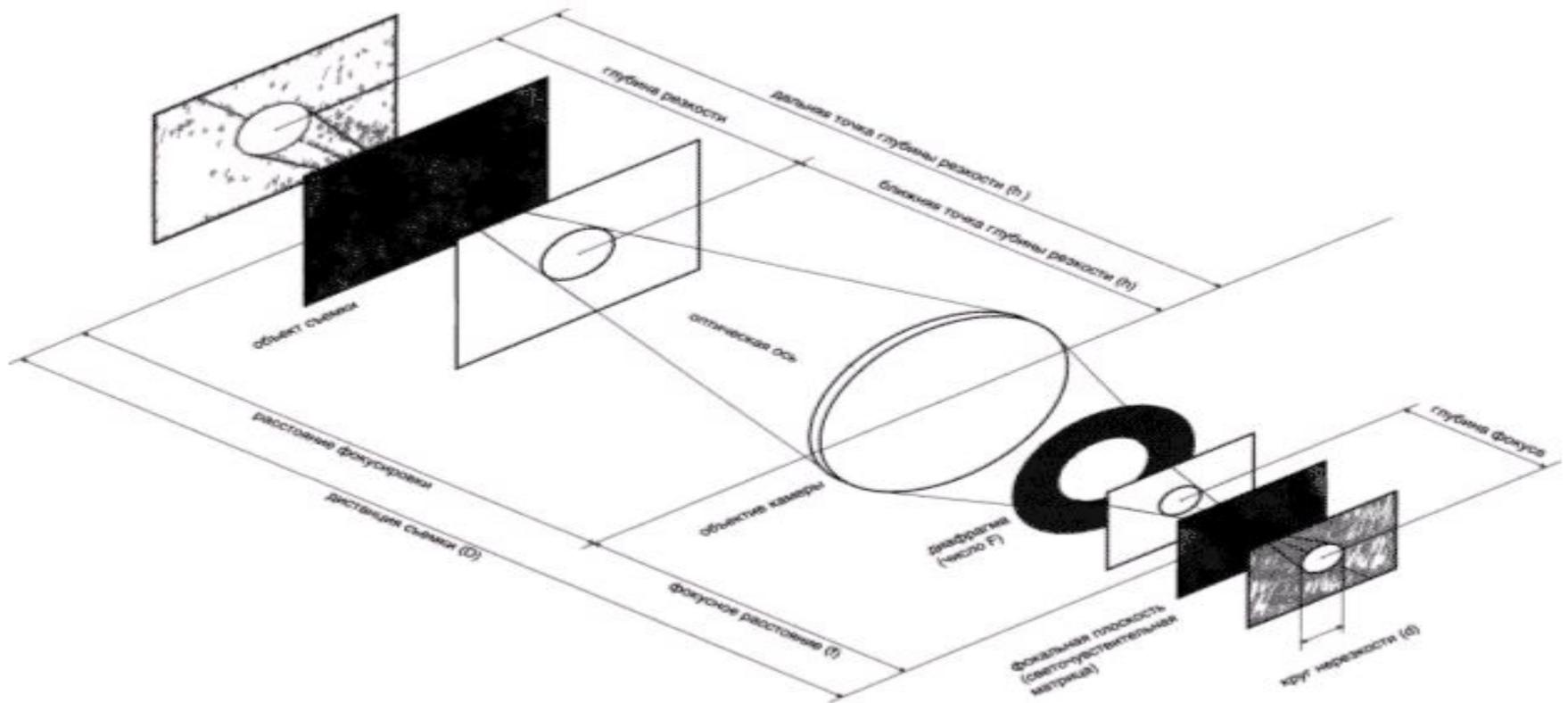
Сравнительная характеристика традиционной и цифровой фотографии.

Наибольшим достоинством галогенсеребряного фотографического процесса является его универсальность и широкие масштабы использования. Однако традиционный процесс имеет свои недостатки. Во-первых, в его основе лежит многоступенчатая химико-фотографическая обработка светочувствительных материалов, требующая больших временных затрат и расходных материалов. Во-вторых, основными светочувствительными веществами, используемыми в традиционной фотографии, являются галогенные соединения серебра, что при мировом дефиците серебра в настоящее время значительно увеличивает стоимость фото процесса.

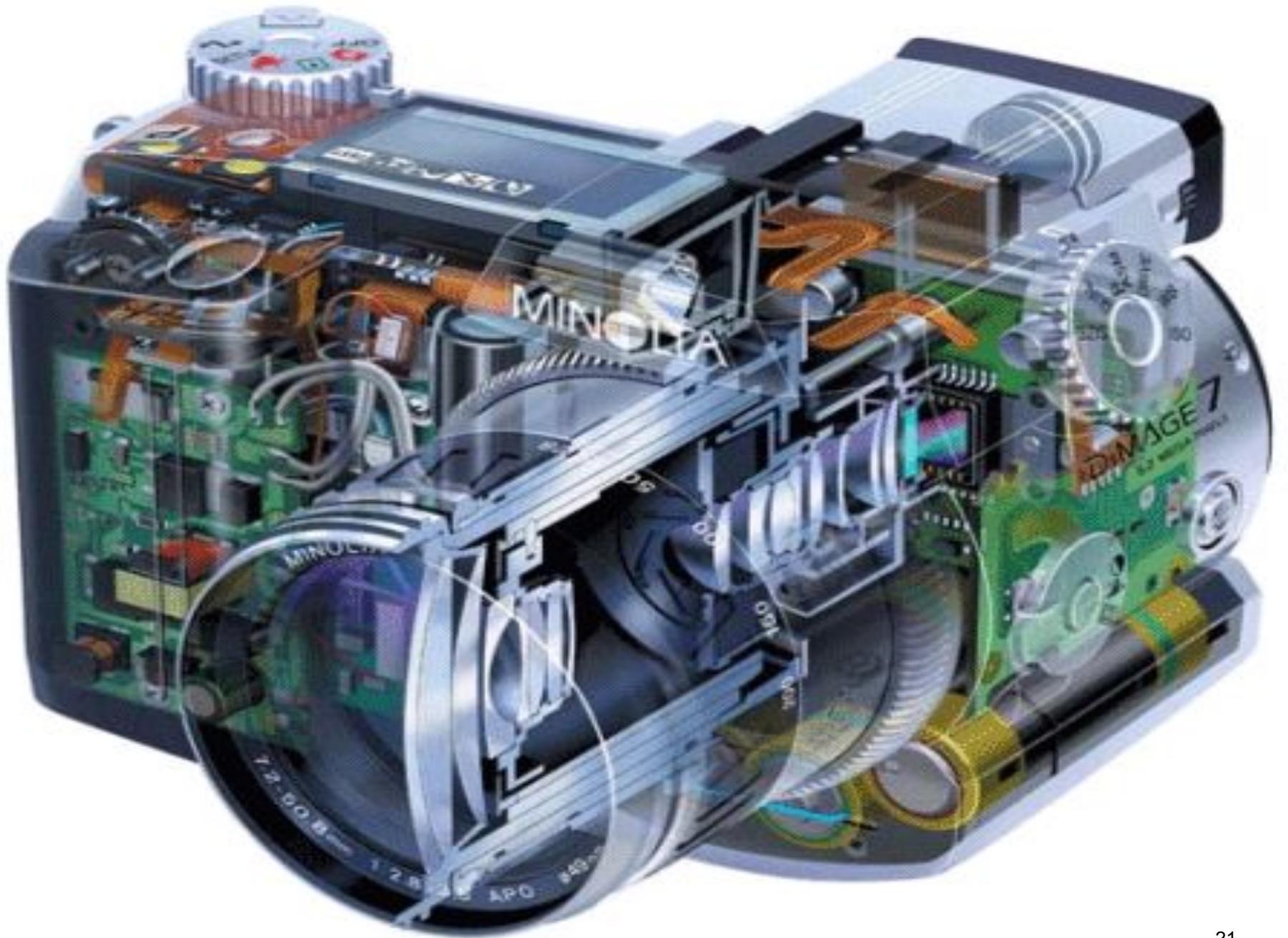
Цифровая фотография лишена этих недостатков: нет необходимости в расходных светочувствительных материалах и их обработке; любая визуальная информация может быть представлена в виде электрического сигнала и посредством компьютера преобразована в цифровой вид; цифровые изображения можно корректировать, хранить неограниченное время, тиражировать на бумажном носителе.



- Матрицы фотокамер снабжены блоком светофильтров, в котором в шахматном порядке чередуются красный, зеленый, синий и снова зеленый цвета (два зеленых фильтра применены исходя из того, что глаз человека наиболее чувствителен к этой части спектра).
- После снятия с сенсора цифровых данных недостающие цвета для каждого пикселя рассчитываются математически, при этом четкость и степень детализации изображения несколько ухудшаются.



- Особое значение на качество съемки цифровой камерой оказывает оптическая система (объектив), проецирующая изображение на светочувствительную матрицу.
- Объектив современной цифровой фотокамеры – устройство сложное, состоящее из множества линз разной формы, перемещающихся друг относительно друга при изменении фокусного расстояния и фокусировке.



## Теоретические основы цифровой фотографии

Основы ввода изображения в компьютер. Оптическое изображение объекта формируется в фокальной плоскости цифрового фотоаппарата (видео-, телекамеры) точно так же, как и в обычном фотоаппарате, т. е. посредством объектива.

В качестве световоспринимающих устройств в цифровых фотокамерах используются два типа фотоприемников (электронных световоспринимающих устройств): приборы с зарядовой связью (ПЗС) и светочувствительные комплементарные металл-оксид-полупроводники (КМОП-сенсоры). Они представляют две технологии изготовления светочувствительных устройств. Их принципиальное отличие состоит в том, что ПЗС является специализированным устройством, используемым для получения изображения, а КМОП-сенсор создан в соответствии с технологией, используемой не только для получения сенсоров, но и для изготовления процессоров, запоминающих устройств, систем фокусировки и многого другого. Отличия состоят также в степени сложности устройства, функциональных возможностях, характеристиках получаемого изображения, в способе регистрации (считывания) информации со светоприемника и т.д.

ПЗС дают наилучшее качество изображения по квантовой эффективности и низкому значению шума.

КМОП-сенсоры по сравнению с ПЗС отличаются пониженным энергопотреблением и высокой технологичностью. Разрешение КМОП-сенсоров, их светочувствительность, динамический диапазон и устойчивость к шумам ниже, чем у ПЗС. КМОП-сенсор объединяет в едином устройстве светочувствительный датчик, аналого-цифровой преобразователь, электронный затвор, схему баланса белого и сжатия изображений.

Назначение светоприемника любого типа – преобразовывать свет (фотоны) в электроны, которые в дальнейшем оцифровываются. Рассмотрим принцип действия светоприемника на примере ПЗС.

Светочувствительный сенсор для получения электронного изображения представляет собой – микросхему (твердотельную пластинку) размером до 1 дюйма (25,4 мм), как правило, не более размера кадра малоформатной камеры. На этой пластинке размещено большое количество мельчайших фотоэлементов. Пластинка представляет собой светочувствительный полупроводниковый кристалл, называемый также матрицей или чипом ПЗС (от английского слова – chip- пластинка), а находящиеся на ней мельчайшие фотоэлементы – пикселями (от английского выражения picture element – элемент изображения). Чем больше этих элементов, тем выше разрешающая способность данных светоприемников.

ПЗС-линейка – «подвижный» светоприемник, т. е. изображение сканируется световоспринимающей поверхностью поэтапно, элемент за элементом по строкам и по всему кадру. Камеры с такими устройствами могут работать только совместно с компьютером, используя для записи изображения жесткий диск. Цифровые камеры и сканеры с ПЗС-линейками обладают параметрами качества (например, разрешающей способностью), намного превосходящими камеры с ПЗС-матрицами. Вместе с тем, объект съемки при экспонировании должен быть абсолютно неподвижным в течение 0,5-3 мин., а освещение постоянным. Для оперативной съемки такие камеры непригодны.

ПЗС-матрицы представляют собой «неподвижные» светоприемники, на всей площади которых объектив формирует оптическое изображение. Они предназначены для оперативной съемки.

ПЗС-матрицы в теле- и видеокамерах обычно имеют размер от 1/4 до 1 дюйма (6,5 - 25,4 мм). Их поверхность обычно разделена на строки (от 504 до 1200), в каждой из которых содержится большое количество светочувствительных элементов (от 756 до 1200). Единичный элемент ПЗС (рис. 197) представляет собой твердотельную структуру типа МОП-конденсатора (МОП – металл – оксид – полупроводник). При его изготовлении на подложку из полупроводникового материала p-типа, например кремния (легированного микропримесями), покрытую слоем диэлектрика (оксида кремния), нанесены ряды тончайших и поэтому прозрачных металлических электродов. Электроды имеют очень малую площадь, например 5x5 мкм (10<sup>-6</sup> метра), и образуют вместе со слоями оксида и полупроводника элементарные фотодатчики. Таким образом, попадая на матрицу светочувствительного полупроводникового приемника, оптическое изображение разлагается на отдельные элементы (пикселы). Число датчиков в каждом ряду соответствует числу элементов изображения в строке.

Основы технологии печати изображений. Техника компьютерной печати состоит в нанесении тем или иным образом отдельных точек на бумагу. Выводные устройства (принтеры) формируют изображение из дискретных монотонно окрашенных точек. Практически любое выводное устройство способно работать только в «двоичном» режиме: либо краска в данной точке есть, либо ее нет. Струйные и лазерные принтеры не в состоянии закрасить точку наполовину, чтобы она не была ни черной, ни белой, а имела какой-либо оттенок серого цвета. Исключение составляют только термодиффузионные принтеры, которые требуют применения особой бумаги, и печатные машины глубокой печати; однако их доля в общем парке оборудования невелика (около 3-4 %).

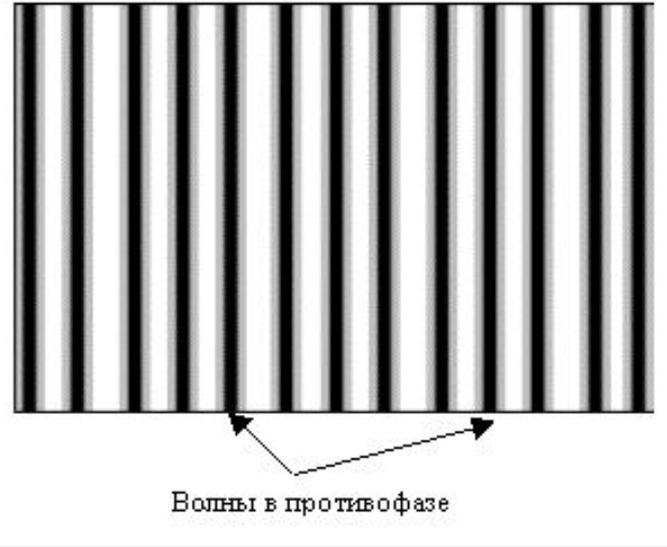
Поскольку непосредственное воспроизведение полутонов струйными и лазерными принтерами невозможно, их, как правило, приходится имитировать. Это достигается с помощью метода, который называется растриванием. Как и в полиграфии, полутона передаются за счет растровой решетки, состоящей из черных точек и белых промежутков между ними, и чем больше размер черной точки, тем темнее получается изображение в данном месте. При этом расстояние между центрами точек остается неизменным, меняется только диаметр точки.

В компьютере операция растривания выполняется автоматически<sup>27</sup> при отправке изображения на печать.

# 3. Голография



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



- В 1947 г. английский физик Дэннис Габор предложил интересный способ устранения aberrации в электронных микроскопах.
- Таким образом, на этом рисунке смогла запечатлеться информация и о фазе световой волны и об её амплитуде, но только это картина суммарной волны, получившейся в результате интерференции, и как бы находящаяся в «зашифрованном» состоянии.

## Физические принципы

Когда в некоторой области пространства складываются несколько электромагнитных волн, частоты которых с очень высокой степенью точности совпадают, возникает стоячая электромагнитная волна.

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 области стоячей электромагнитной волны размещают фотопластинку (или иной регистрирующий материал), в результате на этой пластинке возникает сложная картина полос потемнения, которые соответствуют распределению электромагнитной энергии 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 (частоты) объектной и опорной волн с максимальной точностью совпадали друг с другом и не менялись в течение всего времени записи (иначе на пластинке не запишется чёткой картины интерференции). Этого можно добиться только при выполнении двух условий:

обе волны изначально испущены одним источником

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, не требовательных к этому параметру) до десятков метров (специальные, так называемые одночастотные, лазеры для требовательных к когерентности применений).

- История голографии (пометить кратенько)
- 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), 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.



**Юрий Николаевич Денисюк** ([27 июля](#) (27 июля [1927](#) (27 июля 1927, [Сочи](#) (27 июля 1927, Сочи – [14 мая](#) (27 июля 1927, Сочи – 14 мая [2006](#) (27 июля 1927, Сочи – 14 мая 2006, [Санкт-Петербург](#) (27 июля 1927, Сочи – 14 мая 2006, Санкт-Петербург) — советский [физик](#) (27 июля 1927, Сочи – 14 мая 2006, Санкт-Петербург) — советский физик, внёсший существенный вклад в развитие [голографии](#).

Денисюк провёл свою молодость в [Ленинграде](#) Денисюк провёл свою молодость в Ленинграде и был во время [Ленинградской блокады](#) Денисюк провёл свою молодость в Ленинграде и был во время Ленинградской блокады в городе. Его научная карьера начиналась в [1954](#) Денисюк провёл свою молодость в Ленинграде и был во время Ленинградской блокады в городе. Его научная карьера начиналась в 1954 после окончания [Ленинградского института точной механики и оптики](#) Денисюк провёл свою молодость в Ленинграде и был во время Ленинградской блокады в городе. Его научная карьера начиналась в 1954 после окончания Ленинградского института точной механики и оптики. Его вдохновляет научно-фантастическая повесть «[Звёздные корабли](#) Денисюк провёл свою молодость в Ленинграде и был во время Ленинградской блокады в городе. Его научная карьера начиналась в 1954 после окончания Ленинградского института точной механики и оптики. Его вдохновляет научно-фантастическая

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

В этой схеме записи 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](#).