

# СОВРЕМЕННЫЕ ЛАЗЕРЫ: новые грани света

## Лекция 14

### ЛАЗЕРЫ В СИСТЕМАХ ЗАПИСИ, ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

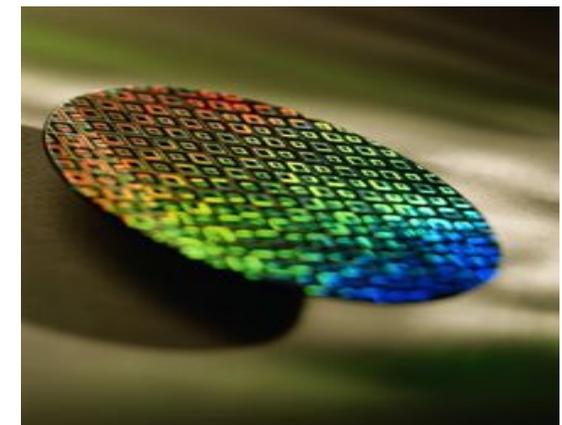
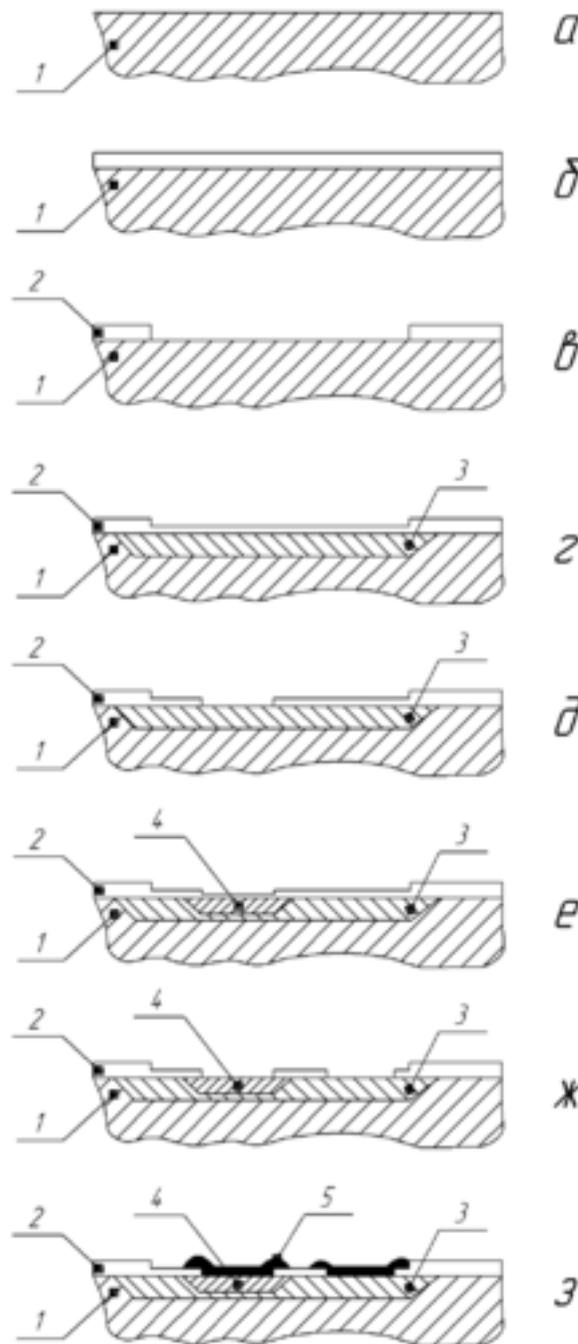
Лазеры в технологиях микроэлектроники. Лазерная литография.  
Современная технологическая норма. Как преодолеть дифракционный предел?  
Современная магнитная запись. Предельная плотность записи.  
Использование оптических явлений при записи на магнитные носители.  
Магнитооптическая память. Технология HAMR. Современные тенденции.  
Конкуренция с SSD-памятью? Технологии ближайшего будущего.  
Чисто оптические методы записи информации.  
Исторические параллели. Грамзапись.  
Аналоговая запись на оптические аудио и видео-диски.  
Цифровая запись на оптический диск. CD-диск. Структура оптического привода. Типы лазеров. CD-R, CD-RW и пр. DVD-диски. Война стандартов. Blu-Ray и Co. Многослойные диски.  
Голографические диски.  
Перспективные технологии.

# Фотолитография. Планарная технология

## Изготовление транзистора по планарной технологии (пример)

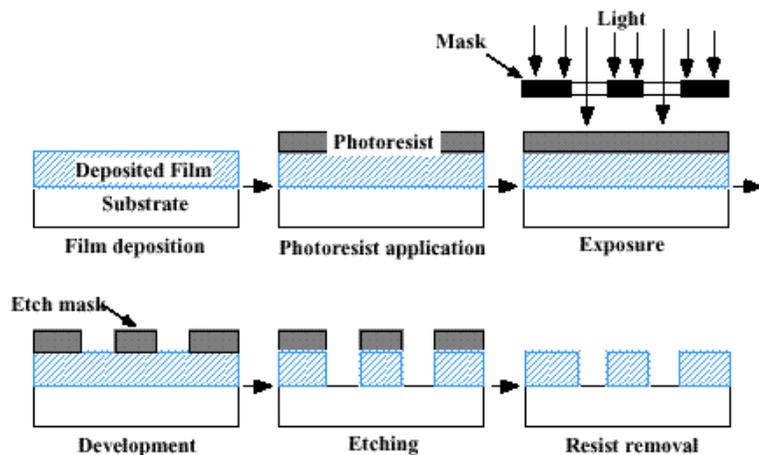
а — исходная пластина;  
б — первое окисление;  
в — первая фотолитографическая обработка (нанесение фоторезиста, освещение через маску, травление);  
г — создание базовой области и второе окисление;  
д — вторая фотолитографическая обработка;  
е — создание эмиттерной области и третье окисление;  
ж — третья фотолитографическая обработка;  
з — металлизация.

1 — Полупроводник с электропроводностью n-типа;  
2 — маскирующая плёнка двуокиси кремния;  
3 — область базы;  
4 — область эмиттера;  
5 — металлическая плёнка (электроды)

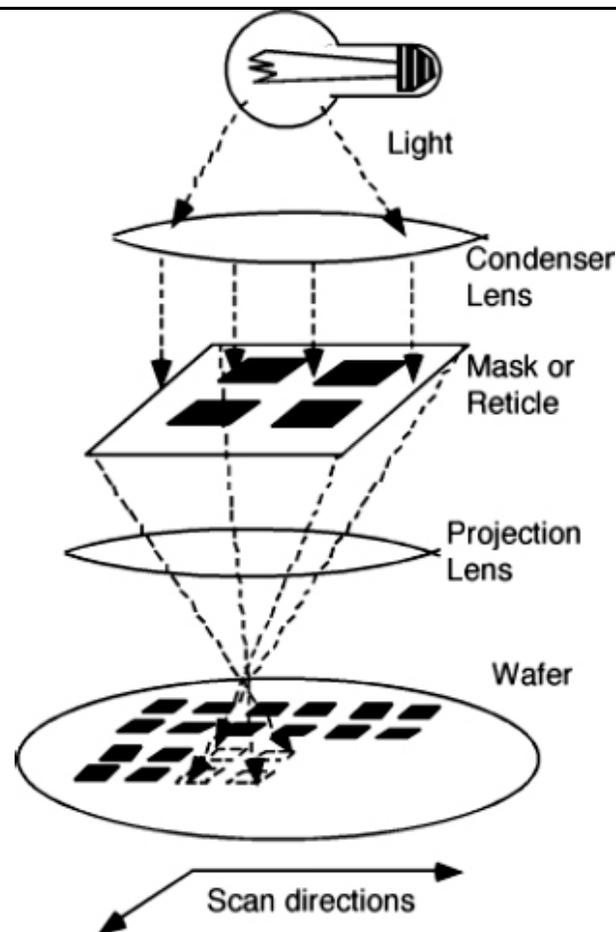


# Фотолитография. Планарная технология

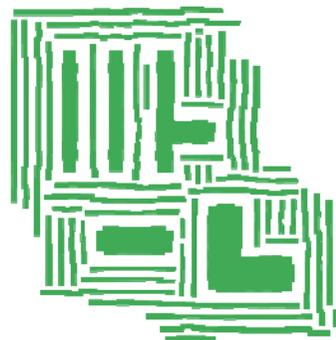
**Фотолитография** - процесс избирательного травления поверхностного слоя с использованием защитной фотомаски



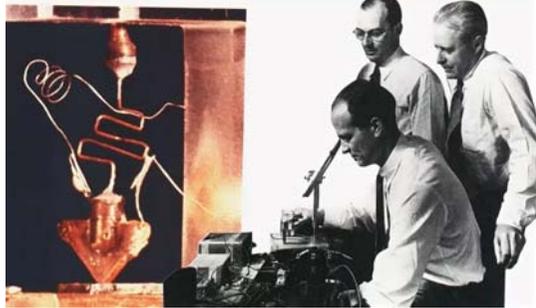
- **оптическая фотолитография** (стандартная),  $\lambda=310-450\text{nm}$ ;
- **ультрафиолетовая фотолитография** на эксимерных лазерах,  $\lambda=248, \lambda=193 \text{ nm}$
- **фотолитография в глубоком ультрафиолете**,  $\lambda=100-10\text{nm}$ ;
- **рентгеновская литография**,  $\lambda=0.1-10\text{nm}$
- **электронная литография**
- **ионная литография**



**Фотомаска**

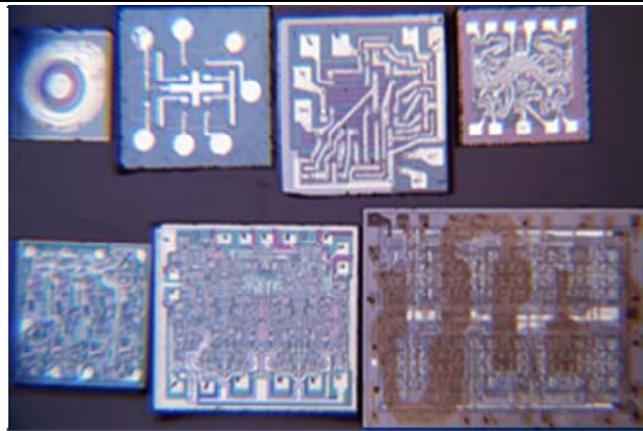


# Экспоненциальное развитие электроники (закон Мура) и фотолитография



1947г, первый транзистор. Бардин, Браттейн, Шоккли. Пока никакой оптики

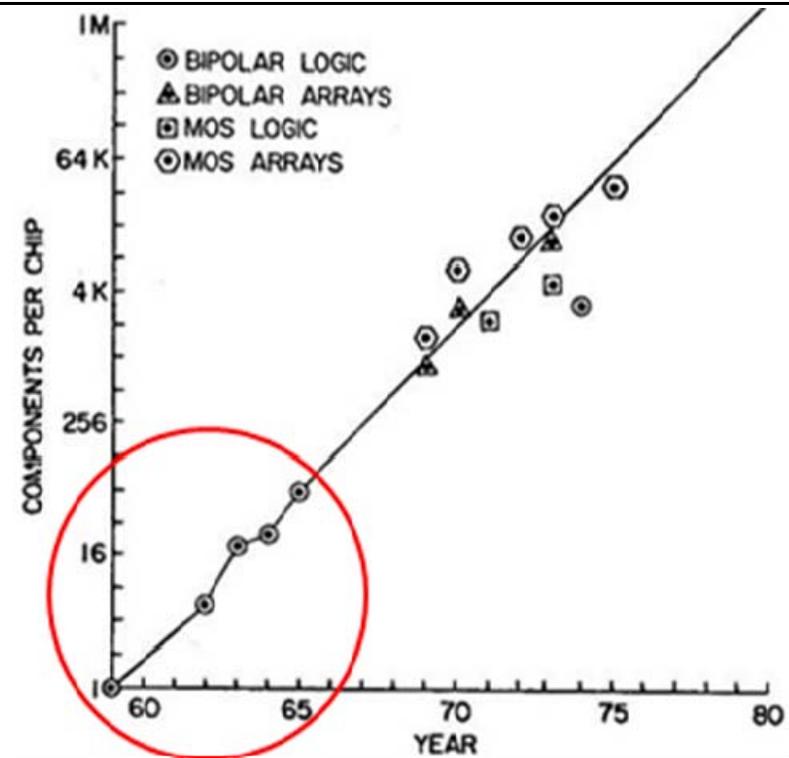
1965 - Гордон Мур, доклад «Будущее интегральной электроники», график (5 точек, период 1959–1964), связывающий число компонентов на чип (и их минимальную цену) и время



Эти чипы - источник закона Мура

19 апреля 1965 - отредактированная версия доклада публикуется в журнале «Electronics»

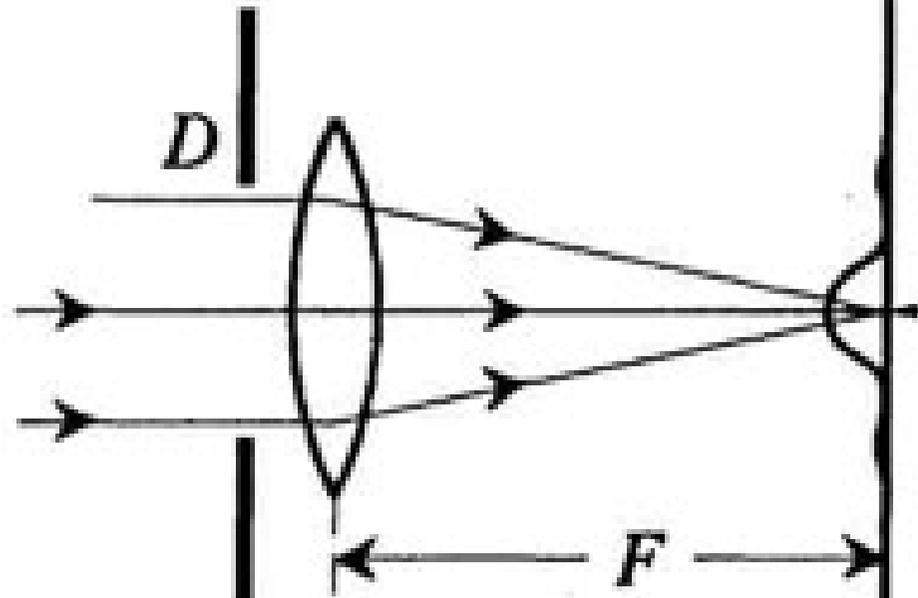
В 1975 году Мур сделал уточнение, где говорится об удвоении каждые два года



Закон Мура (биполярная и полевая логика, память, 1975)

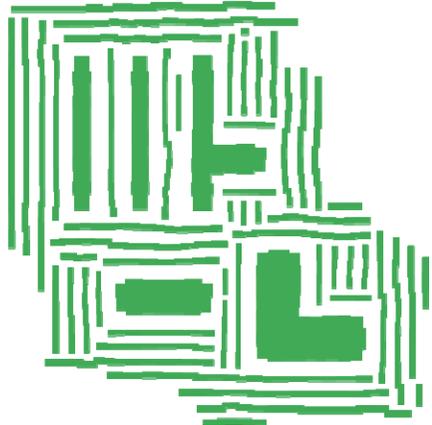
# Использование оптических явлений в планарной технологии

## Предельная фокусировка лазерного излучения

 <p>The diagram shows a lens with diameter <math>D</math> and focal length <math>F</math>. Parallel light rays from the left pass through the lens and converge to a focal spot on a screen to the right. The distance from the lens to the screen is labeled <math>F</math>.</p>	<p>Важнейшую роль играют всего два параметра:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>длина волны</b> используемого излучения <math>\lambda</math></li><li>- <b>Размер пятна</b> в фокальной плоскости: и теперь мы умеем создавать плоскую (ну, почти плоскую) монохроматическую волну</li></ul> $w = 1,22\lambda F / D$
<p>- <b>относительное отверстие</b> (светосила) объектива:</p> $F/D$	<p>или числовая апертура:</p> $NA = \sin \alpha \sim F/2D$

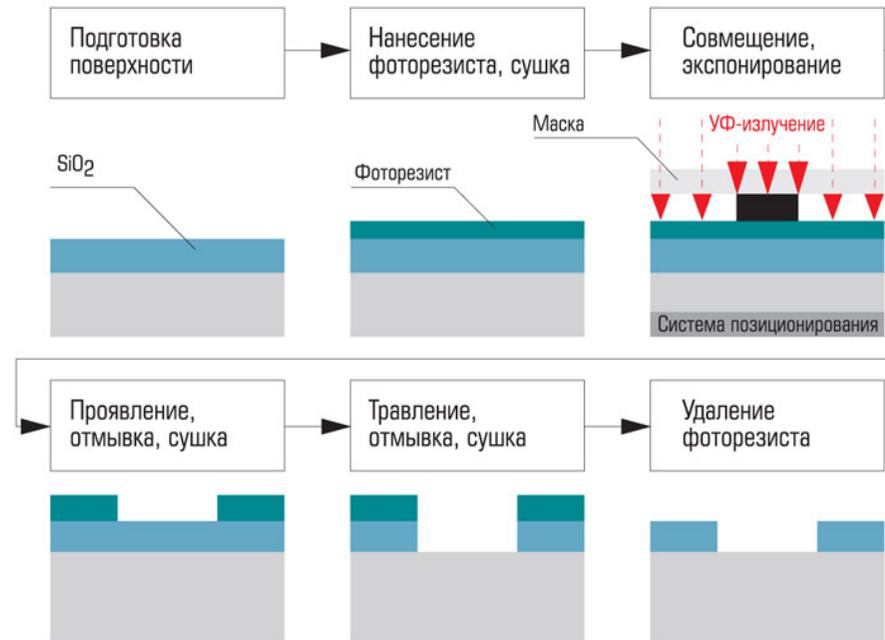
# Лазеры в микроэлектронике. Фотолитография.

**Фотолитография** - процесс избирательного травления поверхностного слоя с использованием защитной фотомаски



Фотолитографическая маска

## Технологический процесс фотолитографии



## Виды литографии

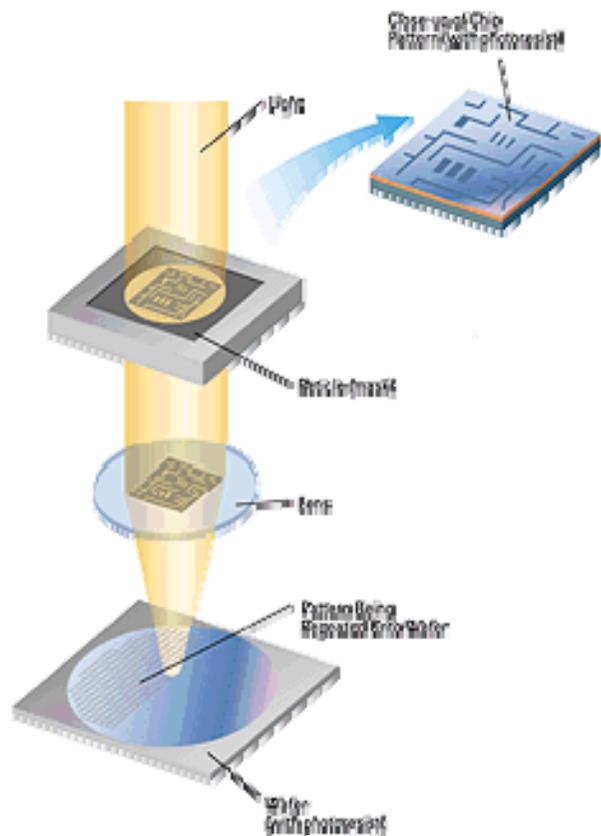
- оптическая фотолитография (стандартная),  $\lambda=310-450\text{nm}$ ;
- УФ фотолитография на эксимерных лазерах,  $\lambda=248\text{ nm}$ ,  $\lambda=193\text{ nm}$
- фотолитография в глубоком УФ,  $\lambda=100-10\text{nm}$ ;
- рентгеновская литография,  $\lambda=0.1-10\text{nm}$
- электронная литография
- ионная литография

Литография может быть безмасочной

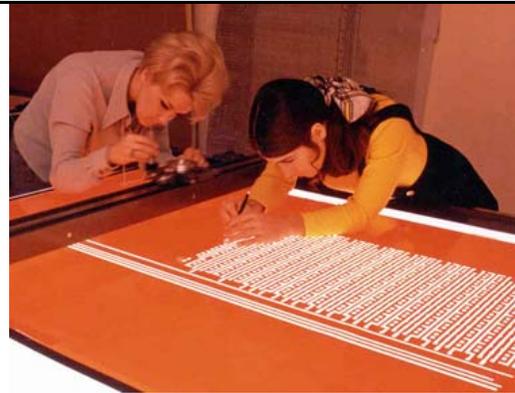
Уравнение деБройля:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

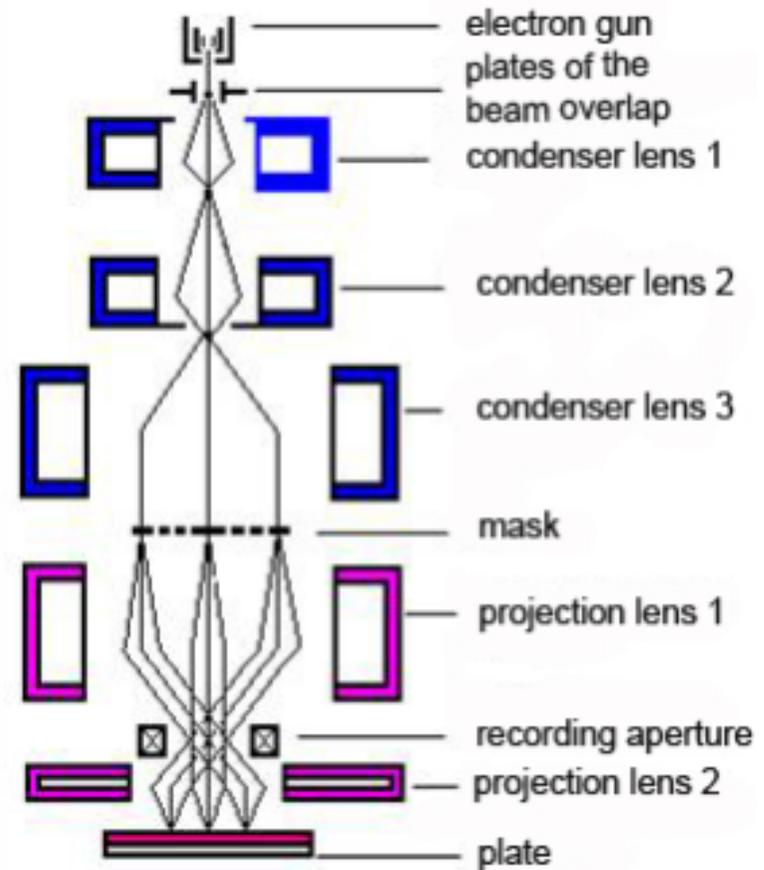
# Лазеры в микроэлектронике. Фотолитография.



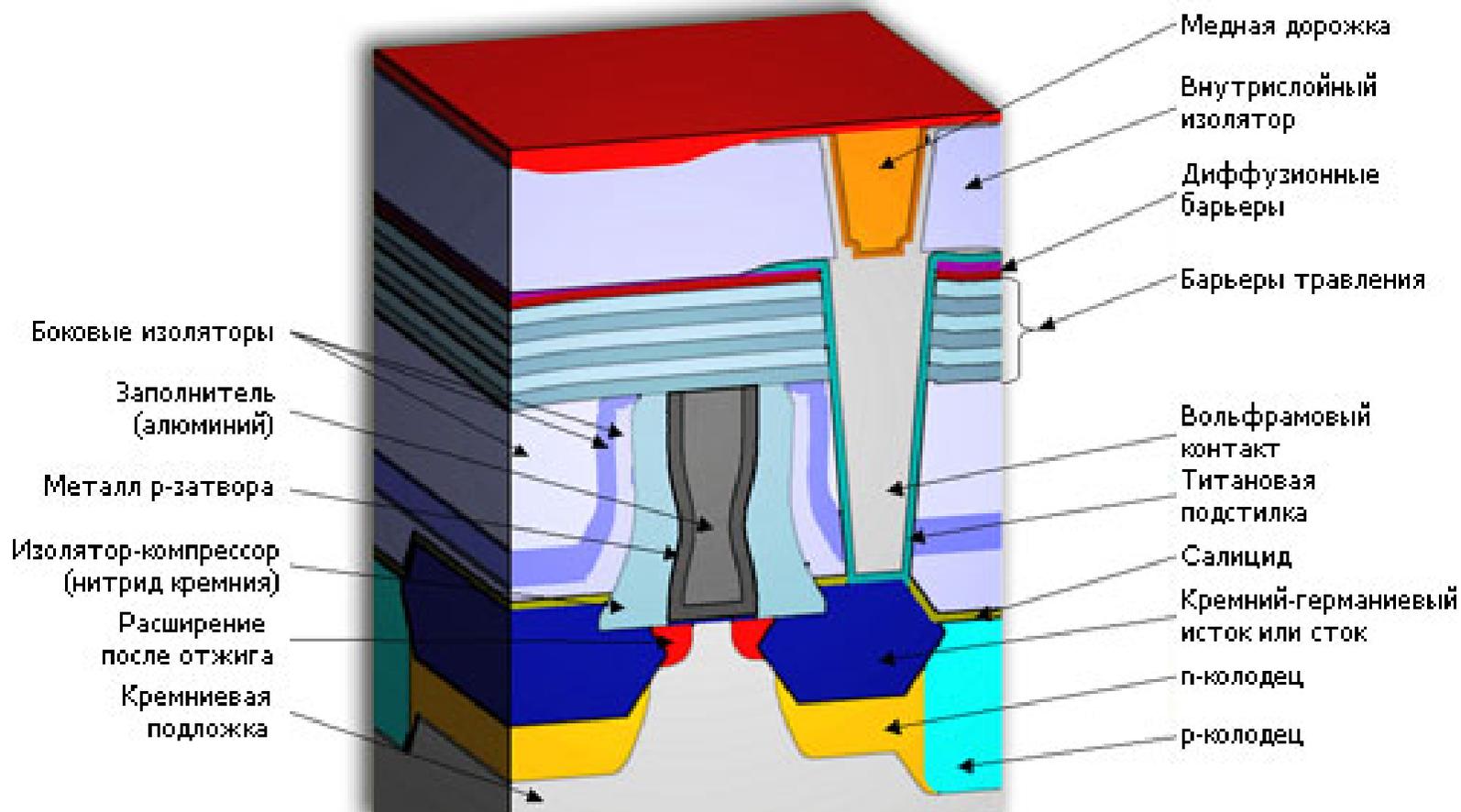
Основным методом получения масок для фотолитографии при производстве монокристаллических микросхем является **электронная литография**. Обеспечивает **разрешение** вплоть до **~1 нм**, благодаря малой длине волны де Бройля. Лазерная **EUV литография** подобного разрешения не дает



*Ручная нарезка маски для фотолитографии (1970-е)*



# Лазеры в микроэлектронике. Фотолитография.



*Устройство 45-нм p-канального транзистора (Intel)*

Современные планарные транзисторами представляют собой сложные многослойные структуры. Процесс изготовления кремниевой пластины со сложными микросхемами продолжается до двух месяцев

# Лазеры в микроэлектронике. Фотолитография

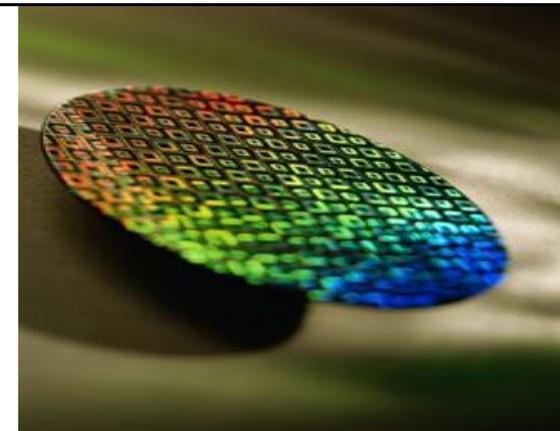


*Современный литографический сканер ASML TwinScan 1950i*

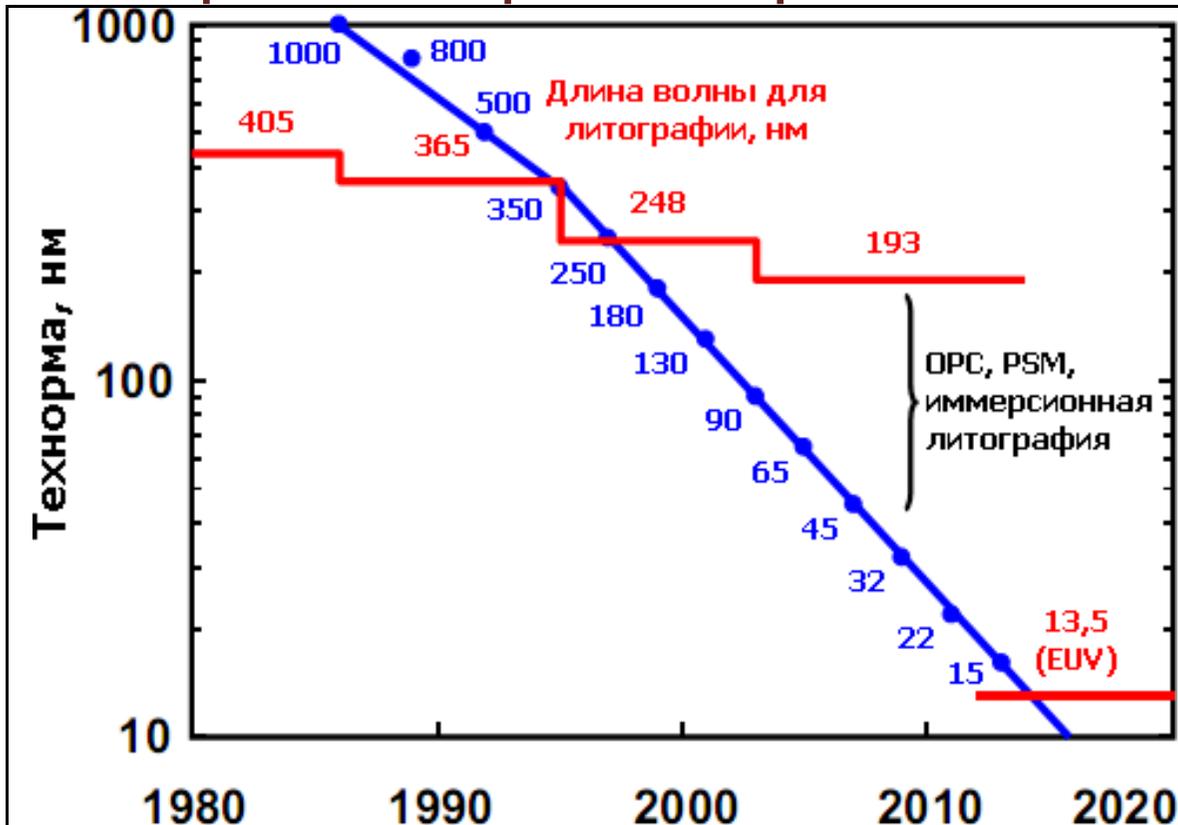
1982 - IBM, внедрение в фотолитографию эксимерных лазеров с длинами волн 248 (KrF) и 193 (ArF) нм.

Поскольку воздух поглощает излучение на длинах волн короче 186 нм, в самых современных техпроцессах с нормами менее 30 нм по-прежнему используются ArF лазеры.

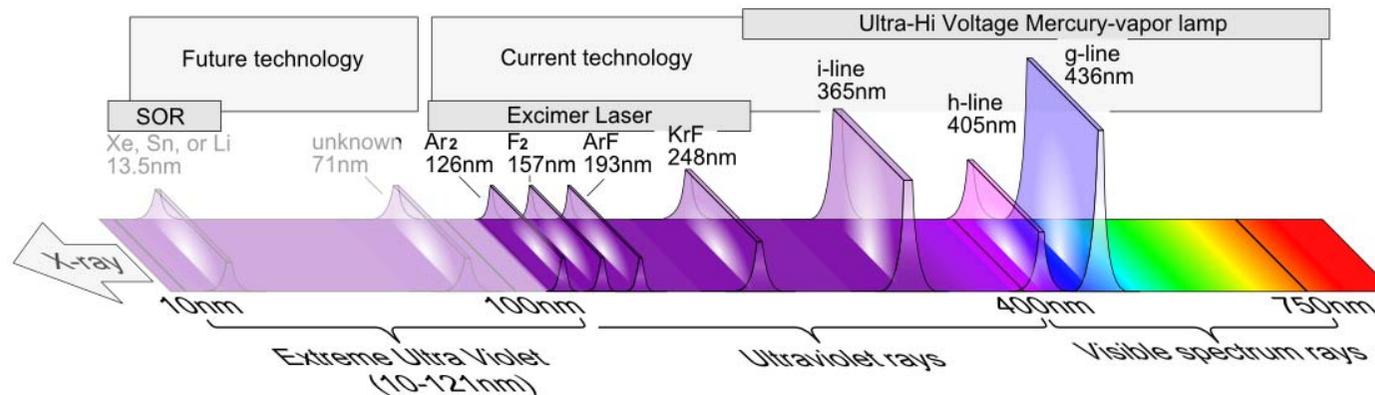
Рано или поздно завершится переход на экстремальный ультрафиолет (ЭУФ, EUV) с длинами волн 13,5 нм (и менее), что заставит использовать вакуумные камеры



# Лазеры в микроэлектронике. Фотолитография



Начиная с 15-нм техпроцесса, постепенно начинает использоваться экстремальный ультрафиолет (EUV) (13нм, излучение лазерной плазмы). Однако, не все просто в технологическом плане (малая эффективность, низкая когерентность, сложность изготовления фотомасок)  
*Технологические нормы для процессоров Intel и используемые длины волн.*



# Лазеры в микроэлектронике. Фотолитография



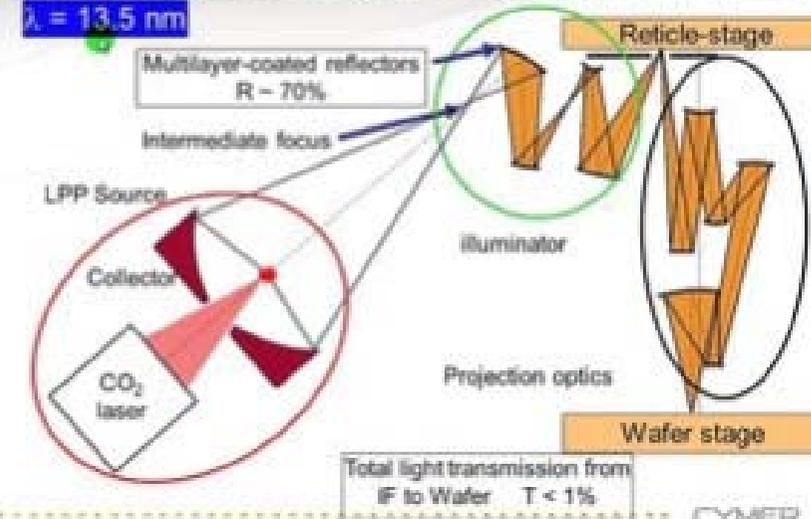
EUV генерируется в плазме, создаваемой при испарении микрокапель сверхчистого олова пучком CO<sub>2</sub> лазера

**EUV фотолитографический сканер NXE:3300B (Bild: ASML). В 2010 мощность <100Вт. В 2013 более 350Вт (NXE:3350B). Стоимость EUV сканера от ASML ~100млн €. Вдвое больше, чем для сканера 193 нм**

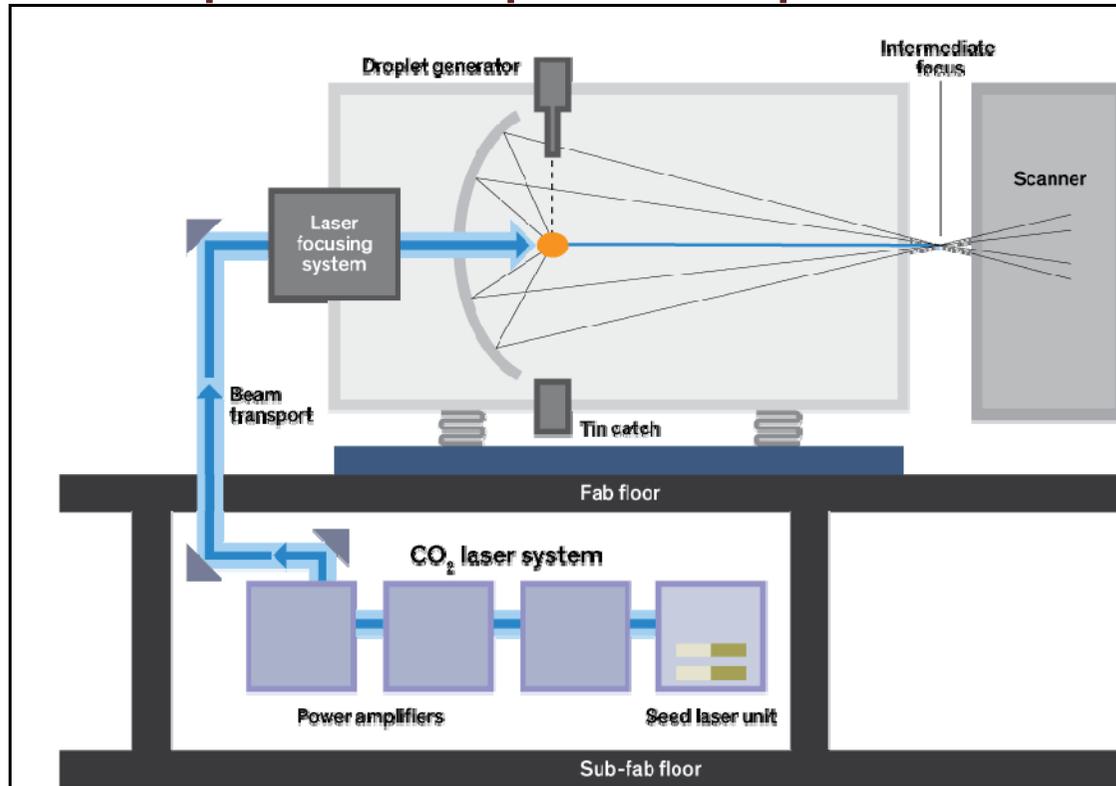
## Extreme ultraviolet (EUV) lithography

The next enabler of the exponential growth of IC capabilities

$\lambda = 13.5 \text{ nm}$



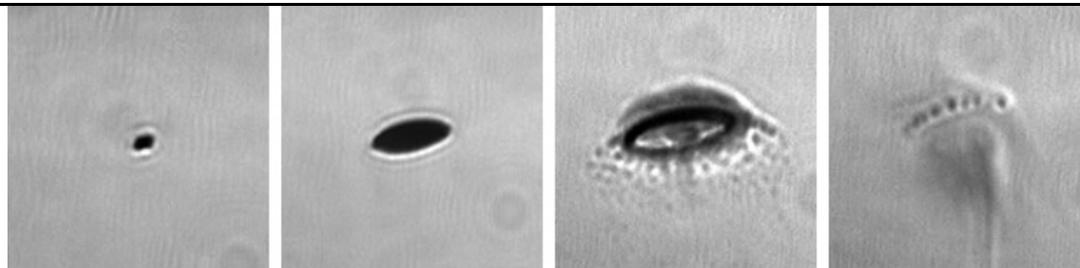
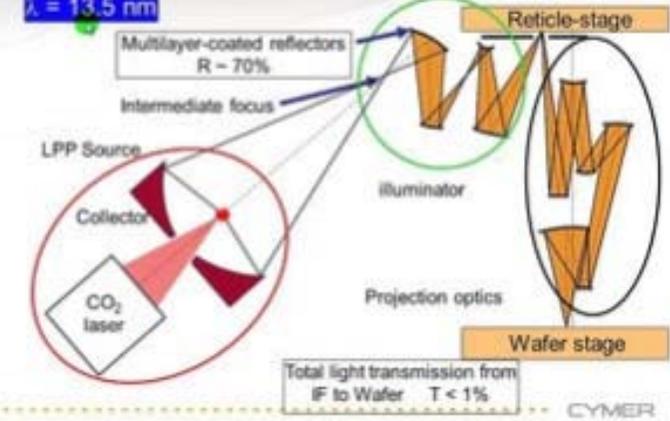
# Лазеры в микроэлектронике. Фотолитография



## Extreme ultraviolet (EUV) lithography

The next enabler of the exponential growth of IC capabilities

$\lambda = 13.5 \text{ nm}$



Эволюция капли олова. Первый импульс расплющивает, второй превращает в плазму. 50000 капель в секунду

*EUV генерируется в плазме, создаваемой при испарении микрокапель сверхчистого олова пучком CO<sub>2</sub> лазера*

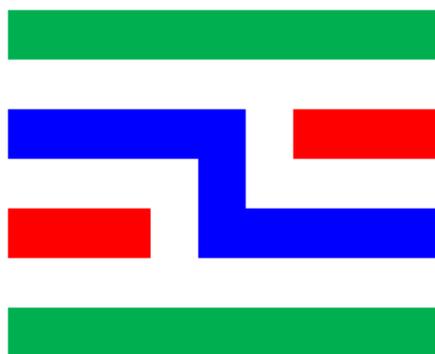
# Лазеры в микроэлектронике. Фотолитография

Современные технологические нормы 14-10 нм. В 2018 году начат выпуск 7 нм в (Samsung). Тестируется 5 и 3 нм. **УФ-фотолитография все еще работает.** Как обходятся принципиальные дифракционные ограничения?

Изображение элемента на фотошаблоне

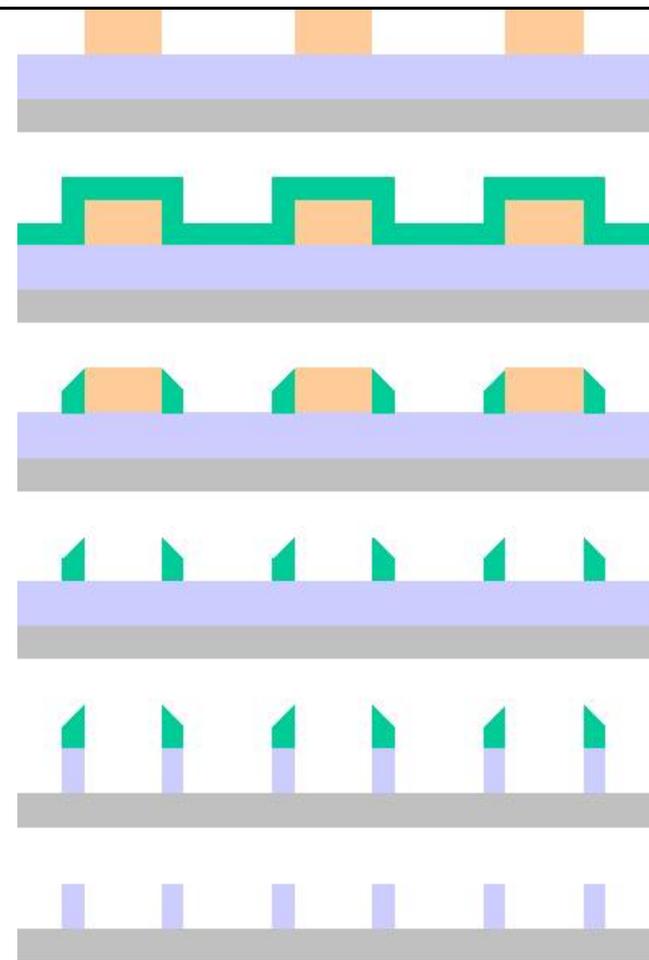


Изображение элемента на фоторезисте



2D тройной патернинг

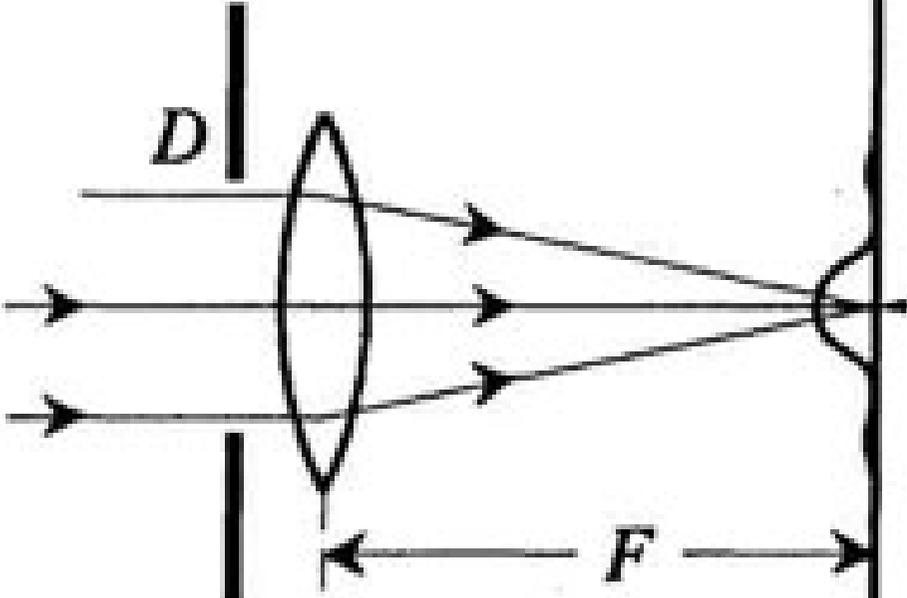
*Тонкие детали микросхем изготавливаются за несколько последовательных проходов*



Мультипатернинг

# Использование оптических явлений при записи на магнитные носители.

## Предельная фокусировка лазерного излучения

	<p>Важнейшую роль играют всего два параметра:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>длина волны</b> используемого излучения <math>\lambda</math></li><li>- <b>Размер пятна</b> в фокальной плоскости: и теперь мы умеем создавать плоскую (ну, почти плоскую) монохроматическую волну</li></ul> $w = 1,22\lambda F / D$
<p>- <b>относительное отверстие</b> (светосила) объектива:</p> $F/D$	<p>или <b>числовая апертура</b>:</p> $NA = \sin \alpha \sim F/2D$

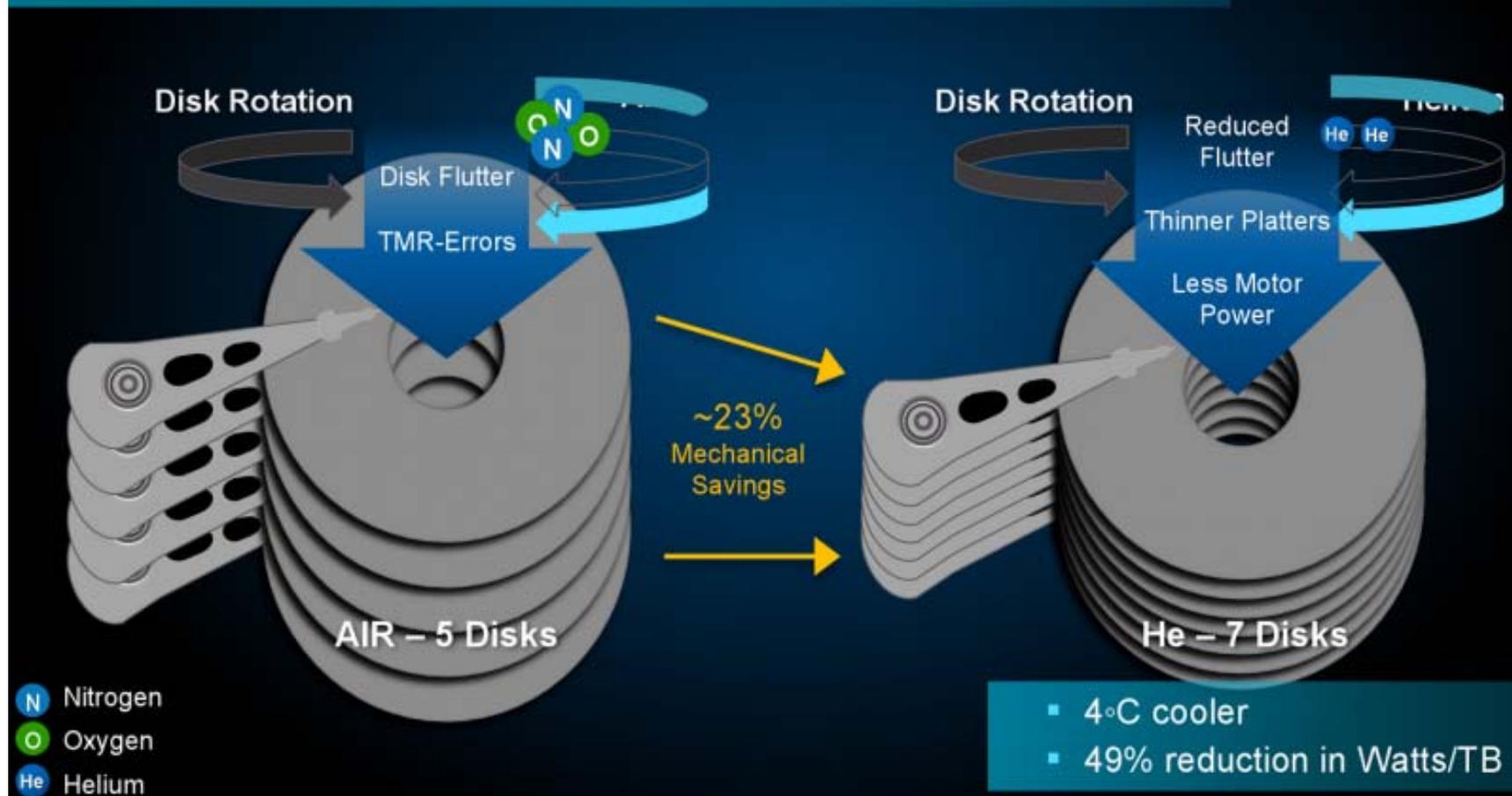
## Использование оптических явлений при записи на магнитные носители. Предельная плотность записи современных магнитных дисков. Причем здесь лазер?

<p>Кольцевая головка чтения</p> <p>Продольная запись</p> <p>Записываемый слой</p> <p>Намагниченность</p> <p>GMR-сенсор</p> <p>Перпендикулярная запись</p> <p>Записываемый слой</p> <p>Мягкий подслой</p> <p>Retain Pole</p>	<p>Поперечная запись активно применяется с ~2006г. Обеспечила 30% скачок плотности записи.</p> <p>При перпендикулярной записи теоретический предел плотности записи составляет около <b>1Тбит/дюйм<sup>2</sup></b>.</p> <p>То есть, на одной стороне 3х-дюймового диска может быть записано около <b>1Тбайта</b>.</p> <p>Размер бита при этом около <b>10x60 нм<sup>2</sup></b>. Возможности увеличения плотности стандартной перпендикулярной записи исчерпаны.</p> <p>Исследуются различные возможности для увеличения плотности записи</p>
<p>Продольная и перпендикулярная запись на магнитный диск</p>	

# Есть ли возможности увеличения предельной плотности записи на магнитных дисках?

## Перспективные технологии магнитной записи

- Reduces mechanical power dissipated in air shear
- Allows platters to be placed closer together enabling more capacity

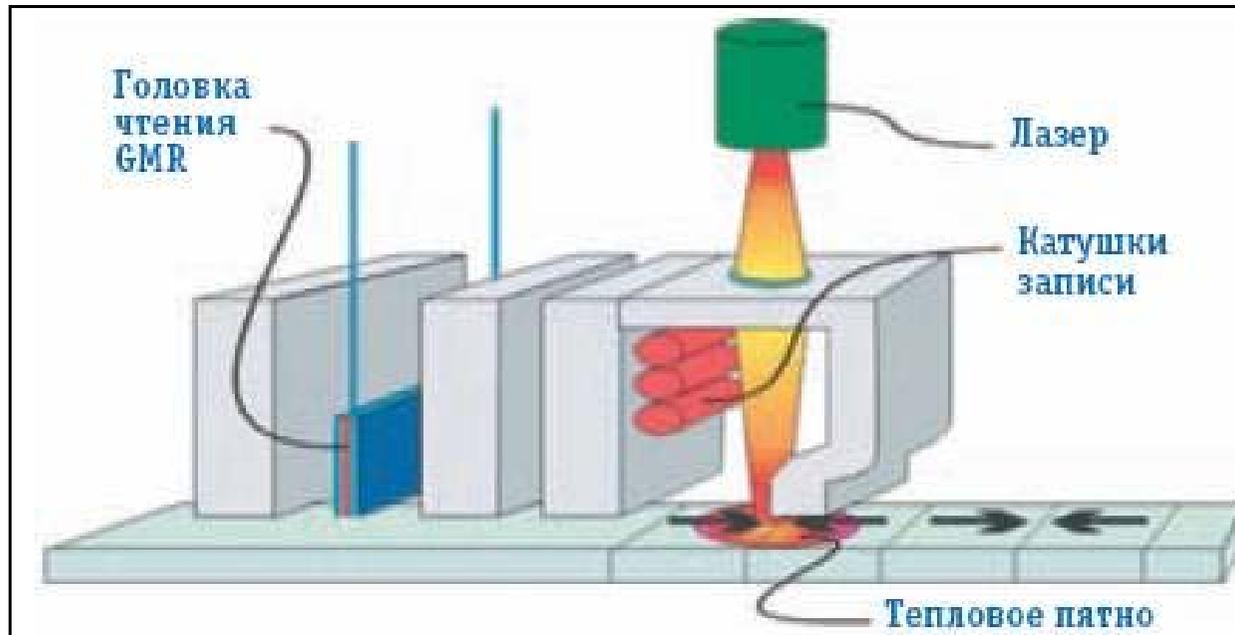


# Есть ли возможности увеличения предельной плотности записи на магнитных дисках?



Два направления связаны с использованием лазерного излучения

## Использование оптических явлений при записи на магнитные носители. Технология HAMR.



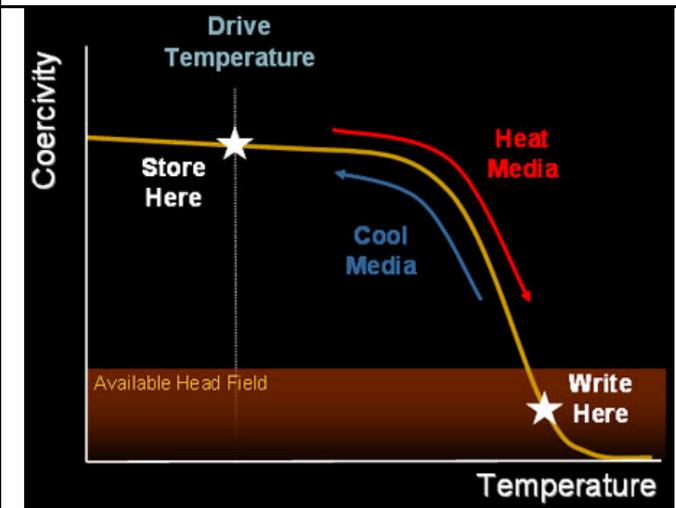
Лазер для нагрева носителя, интегрированный в головку записи

Вопрос: как обойти ограничения, связанные с дифракционным пределом?

$$\sim \lambda$$

Согласно оценкам, представленным Seagate, максимальная плотность записи при технологии HAMR может достигать 50Тбит/дюйм<sup>2</sup>.

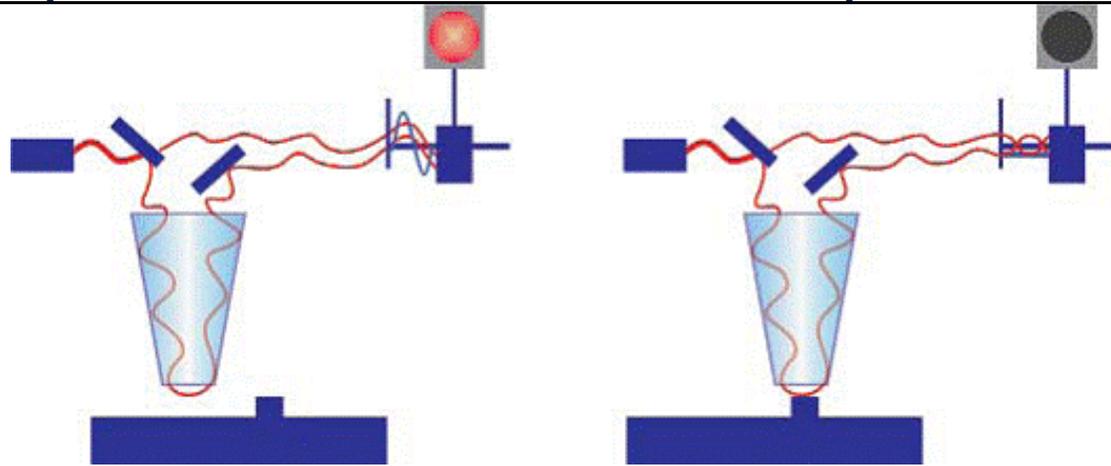
Начало массового внедрения предполагалось несколько лет назад (2010-2015). Сроки массового внедрения постоянно сдвигаются, но малые серии уже работают



## Использование оптических явлений при записи на магнитные носители. Можно ли обойти дифракционные ограничения?

Оптическая запись/считывание с субдифракционным разрешением?

Принцип действия оптического микроскопа ближнего поля (SNOM)



Модуляции мощности отраженного сигнала при движении иглы вдоль поверхности соответствуют характеру записанной информации.

При сканировании реализуется разрешение **50 нм и лучше**.

Мощность мала для традиционных технологий оптической записи. Но ведется разработка новых, например, на основе спиновых эффектов.

Световой пучок, распространяющийся по световоду специальной формы, отражаясь и преломляясь на границе раздела двух сред различной плотности (стекло/воздух), не выходит далеко сквозь апертуру кончика иглы. Световая волна лишь слегка “вываливается” за пределы световода благодаря дифракции. При наличии неоднородности в непосредственной близости от кончика иглы интенсивность отраженного света слегка меняется.

# HAMR технология: магнитная запись при оптическом воздействии с субдифракционным разрешением?

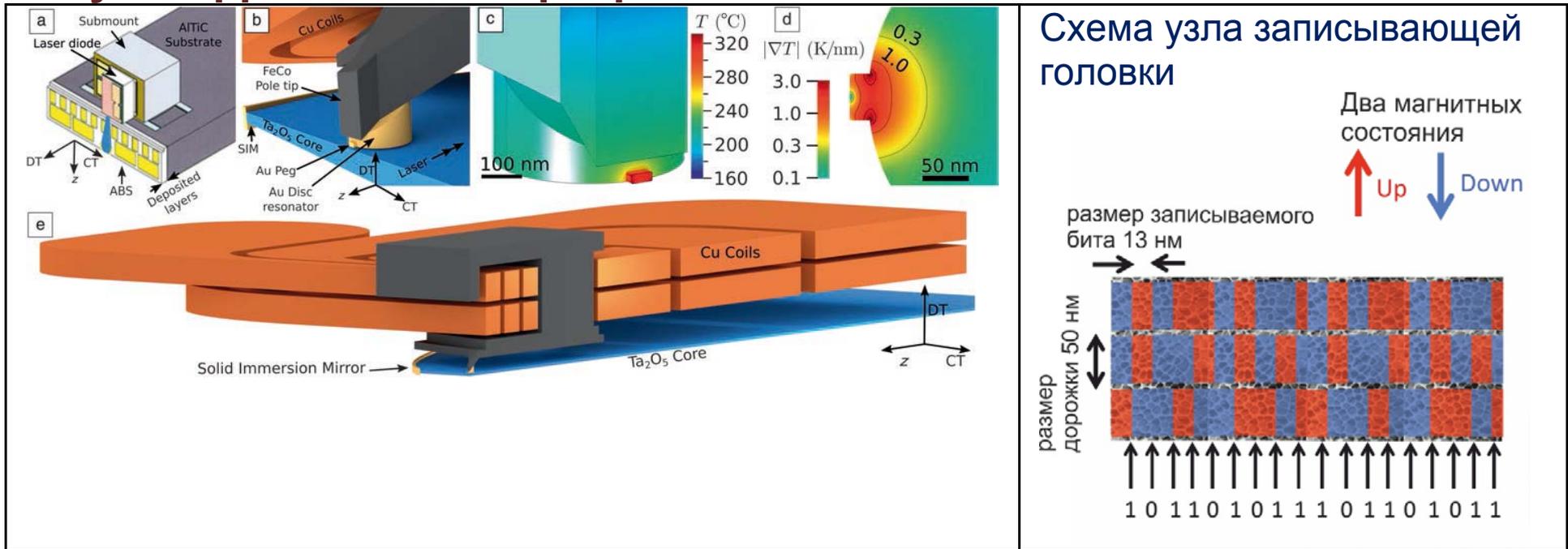
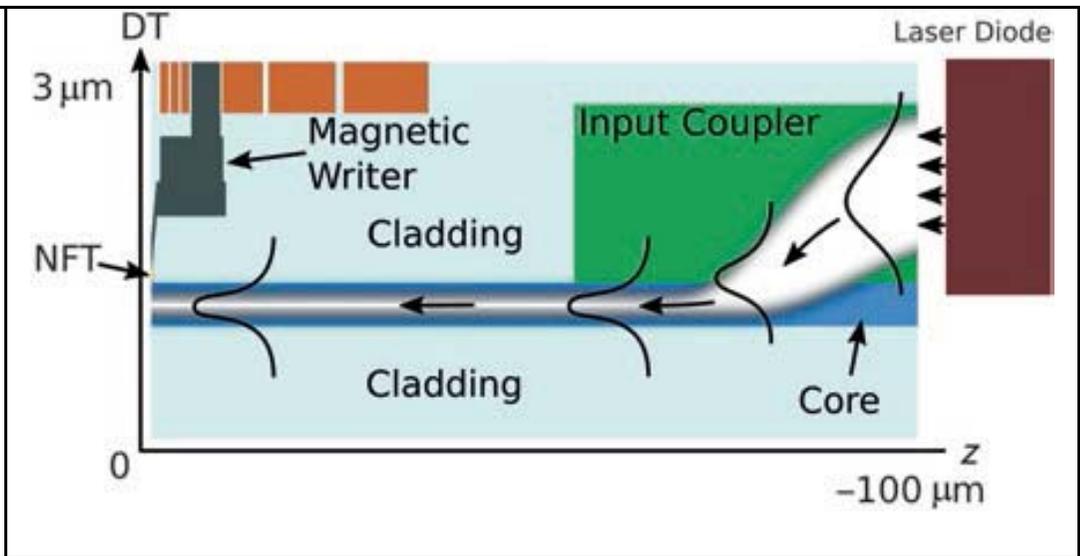


Схема NFT (Near Field Transducer)

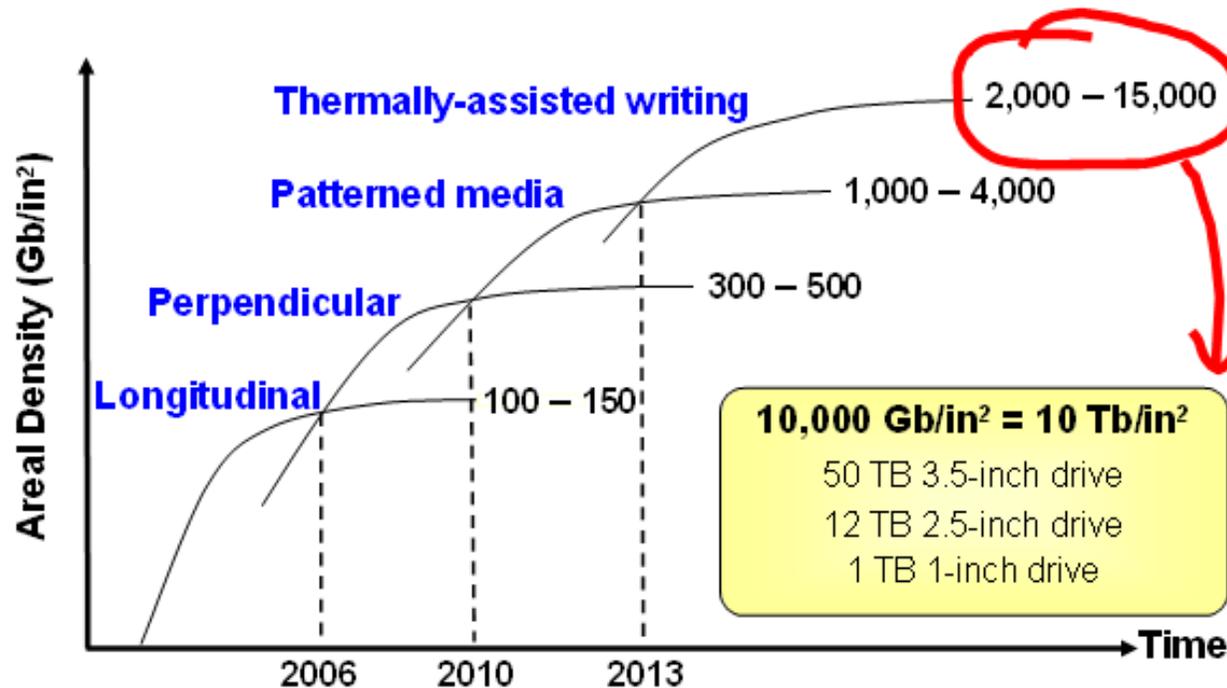


# Поколения современной и перспективной магнитной записи

## Hard Drive Technology Roadmap

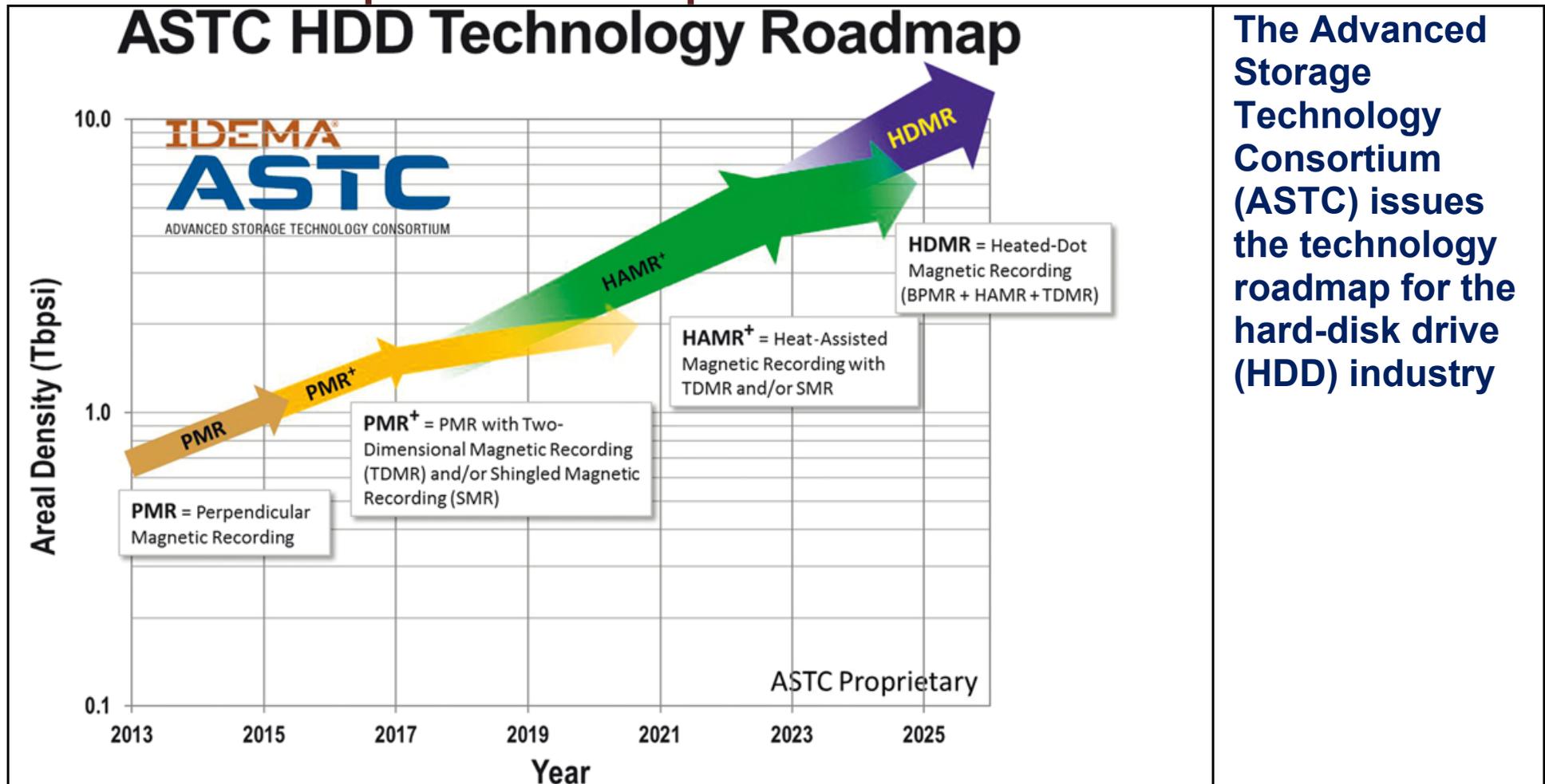
HITACHI  
Inspire the Next

Technology changes coming in the next 10 years will be as radical as the changes that have occurred over the past 50 years.



Сочетание технологий SOMA (self-organizing magnet arrays) и HAMR (heating assisted magnet recording) позволит достичь плотности 2D магнитной записи ~ 10-15 Тбит/кв.дюйм, недостижимой для традиционной 2D оптической записи

## Поколения современной и перспективной магнитной записи

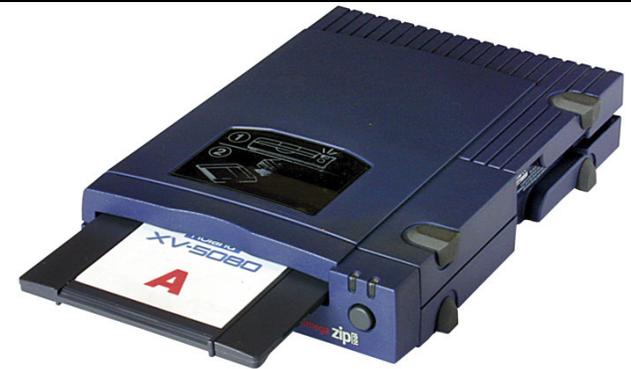


The Advanced Storage Technology Consortium (ASTC) issues the technology roadmap for the hard-disk drive (HDD) industry

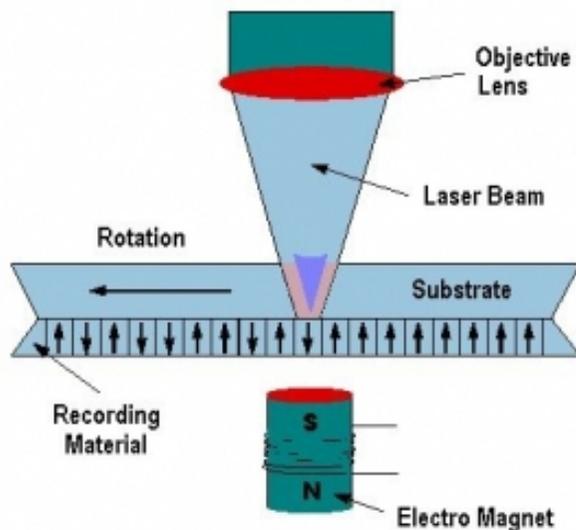
Technologies often follow an s-curve trajectory with performance increasing slowly in early development, rapidly as it matures, and slower again as it reaches physical limits. Perpendicular magnetic recording (PMR) is reaching its limit near 1.5 Tbps. The next technology S-curve is heat-assisted magnetic recording (HAMR), with product introduction in 2018. HAMR is followed by heated-dot magnetic recording (HDMR) around 2023. Note: BPMR, bit patterned magnetic recording.

## Использование оптических явлений при записи на магнитные носители. Еще не забыли: магнитооптическая память.

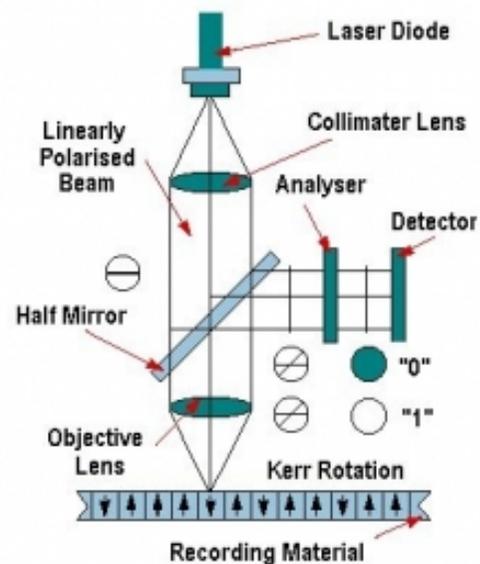
**Магнитооптический диск** - носитель информации, сочетающий в себе свойства оптических и магнитных накопителей. Первые магнитооптические диски появились в начале 80-х годов.



Write cycle



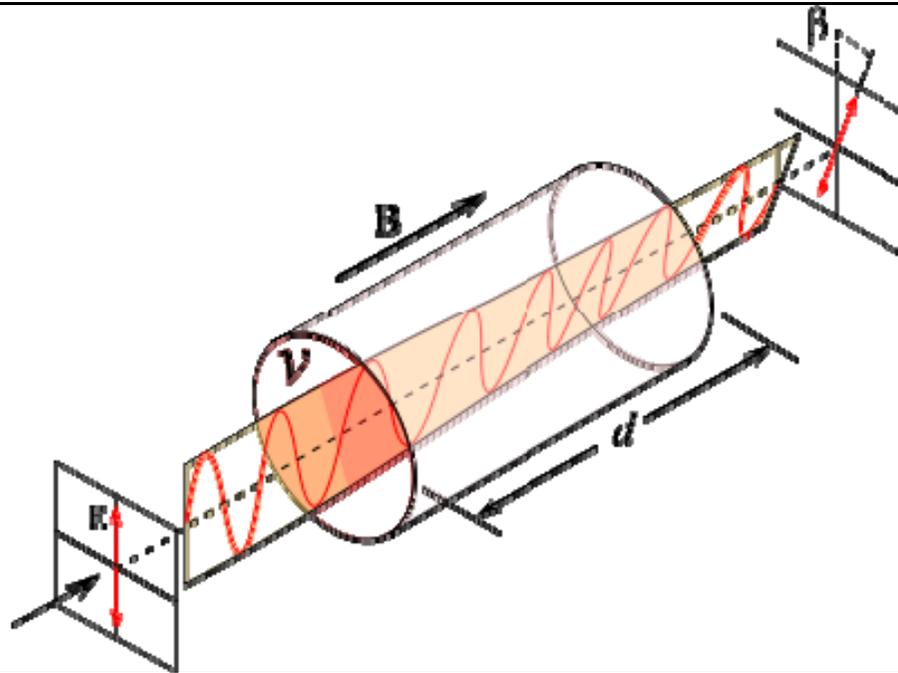
Read cycle



Область записи информации (бита) локализуется за счет воздействия на магнитный носитель пучка сфокусированного лазерного излучения

При записи излучение лазера разогревает участок дорожки выше температуры точки Кюри, после чего изменяется его намагниченность.

## Использование оптических явлений при записи на магнитные носители. Магнитооптическая память.



Эффект Фарадея - вращение плоскости поляризации света в магнитном поле - обнаружен М. Фарадеем в 1845 г.

При прохождении вдоль силовых линий плоскость поляризации поворачивается на угол

$$\theta = \nu Hl$$

$\nu$  - постоянная Верде и зависит от вещества, длины волны  $\lambda$  и температуры

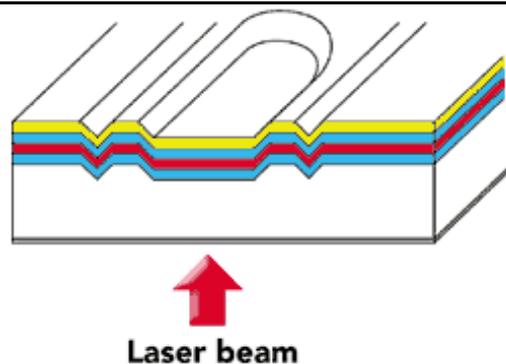
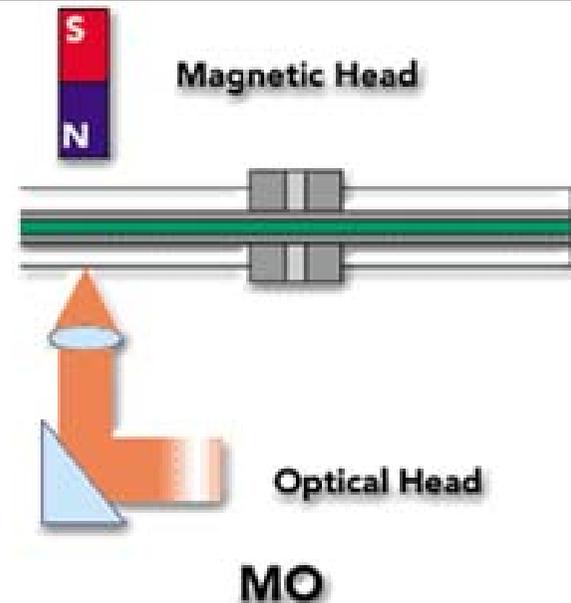
Эффект Фарадея позволяет определить направление силовых линий магнитного поля, которое и используется для записи информации

При считывании поляризованное лазерное излучение меньшей мощности, отражаясь от подложки, дважды проходит через чувствительный к магнитному полю слой и попадает на датчик. В зависимости от намагниченности меняется плоскость поляризации излучения (эффект Фарадея), что и определяется датчиком

# Использование оптических явлений при записи на магнитные носители. Магнитооптическая память.

Схема записи на магнитооптический диск

Слоистая структура МО диска:  
желтый - отражающий слой  
голубой - диэлектрический слой I  
красный - записывающий слой  
голубой - диэлектрический слой II  
белый - поликарбонат



-  Reflective Layer
-  Dielectric Layer
-  Recording Layer
-  Dielectric Layer
-  Polycarbonate

МО диски были относительно распространены в 1990-е годы. По сравнению с широко используемыми тогда НГМД, имели большую емкость и высокую надежность хранения данных. Использовались, например, для резервного копирования данных.

# Использование оптических явлений при записи на магнитные носители. Магнитооптическая память.

## Основные достоинства:

сравнительно высокая плотность записи

бесконтактная запись и чтение

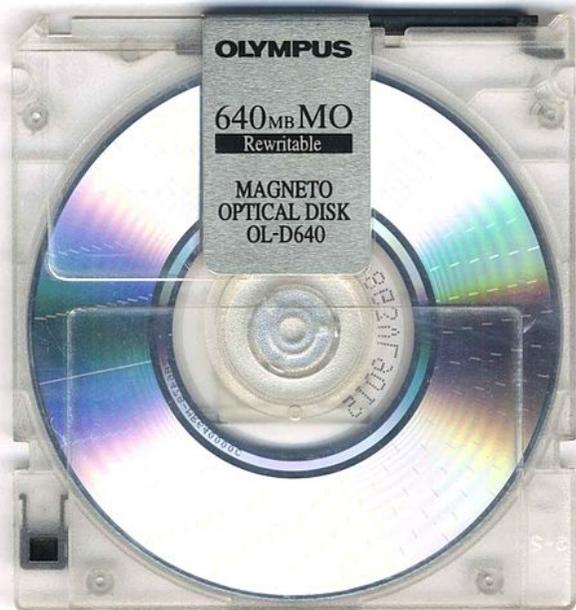
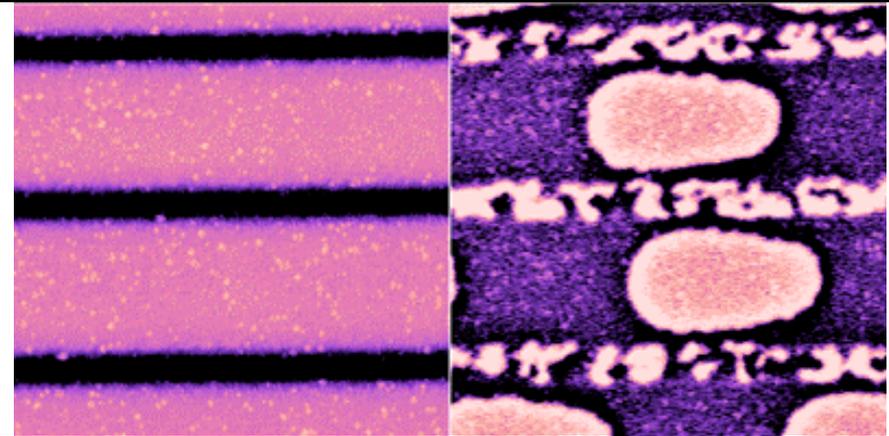
не боится магнитных полей

> 10 млн. циклов стирания/записи

скорость записи/чтения ~ несколько

Мбайт/с

разные интерфейсы (IDE, LPT, USB, SCSI)



## Основные недостатки:

Надо стирать содержимое диска перед записью

Сравнительно высокое энергопотребление

Высокая цена как дисков, так и накопителей

Не распространены, отсутствует единый стандарт

# Исторические параллели. Запись аналоговой информации. Фонограф и граммофон



*Фонограф* Томаса Эдиссона (1877 г., Шарль Кро и Томас Эдиссон)

Граммофон - прибор для записи и воспроизведения звука с граммофонной пластинки (1887 г., Берлинер)



*Граммофон*  
Является развитием фонографа: вместо цилиндров - валиков для записи и воспроизведения звуков используются диски



Граммофонные пластинки

# Оптические диски. Запись аналоговой информации. Laserdisc и Videodisc

1958 - Дэвид Грэгг предлагает технологию Лазерный диск (LD, Laserdisc, прозрачный диск)  
1961 - технология Laserdisc запатентована  
1969 - Philips разрабатывает технологию Видеодиск (VD, Videodisc, отраженное излучение)  
1972 - первая публичная демонстрация технологии Видеодиск  
1978 - технология Laserdisc доступна покупателю



*Лазерный диск (слева) и DVD*



*Лазерный плеер Magnavox*

В самых первых моделях плееров для чтения используется He-Ne лазер ( $\lambda = 632$  нм);  
в поздних - GaAs лазерный диод ( $\lambda = 780$  нм)

# Оптические диски. Запись цифровой информации. **CD, CD-R, CD-RW, DVD ...**

1970 - Philips начинает работу над системой ALP (*audio long play*) - цифровым конкурентом грамзаписи, использующим лазерную технологию чтения

1977 - появляется название CD (*compact disc*), которое должно было напоминать об успехе компакт-кассет, «убивших» катушки с магнитной лентой

1979 - Sony настояла на том, CD должен вместить 9-ю симфонию Бетховена (74 мин), что определило стандартный диаметр диска 12 см

1980 - Philips и Sony выпускают стандарт Red Book

1982 - Philips представляет первый CD проигрыватель



*CD диск*



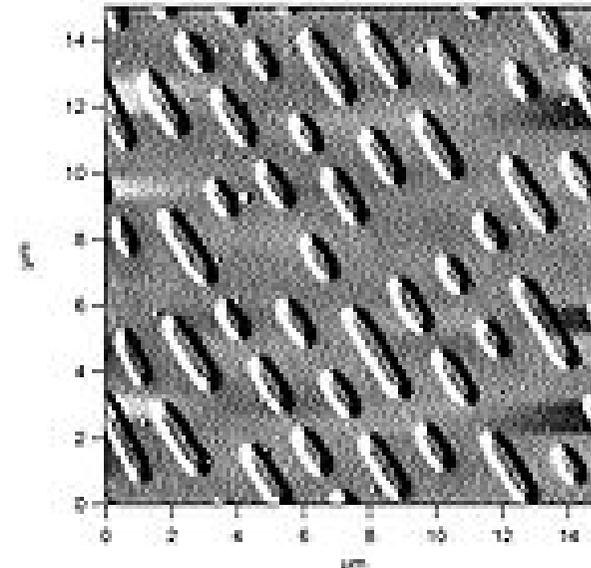
CD-ROM driver

# CD. Физическое представление информации на оптическом диске

**Пит** — единичное углубление на информационном рельефе компакт диска, представляющем собой спиральную дорожку, обычно начинающуюся от центра и состоящую из последовательности углублений - питов

Промежутки между питами называются **лэндами** (lands)

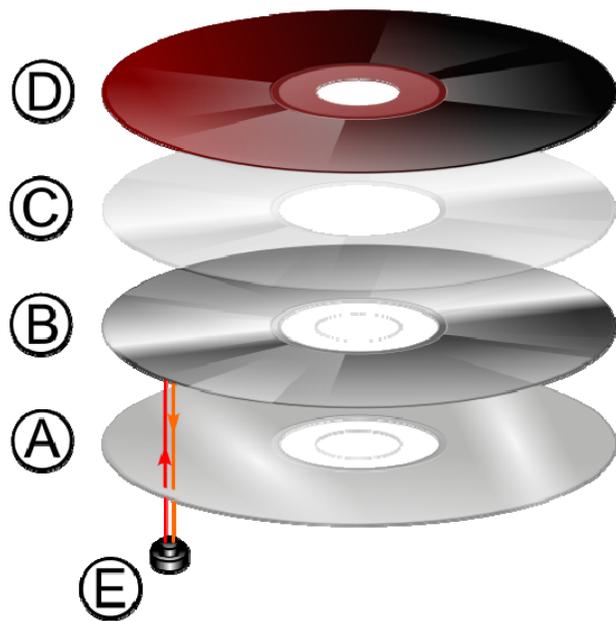
Глубина пита равна  $1/4 \lambda$ , поэтому отраженный от пита сигнал находится в противофазе с сигналом, отраженного от лэнда. Это и позволяет детектировать переход между питом и лэндом. Момент перехода между питом и лэндом кодирует логическую единицу и образует часть EFM паттерна, декодируемую впоследствии в стандартный байт. EFM паттерн для CD и DVD имеет разную длину (14 и 16 бит соответственно)



*Поверхность CD под электронным микроскопом*

Физический размер	Звучание	Запись данных	Примечание
120 мм	74 - 99 мин	650 - 870 МБ	Стандарт
80 мм	21 - 24 мин	185 - 210 МБ	Мини - CD
от 85 x 54 мм до 86 x 64 мм	~ 6 мин	10 - 65 МБ	«Бизнес карта»

# CD. Структура компакт-диска



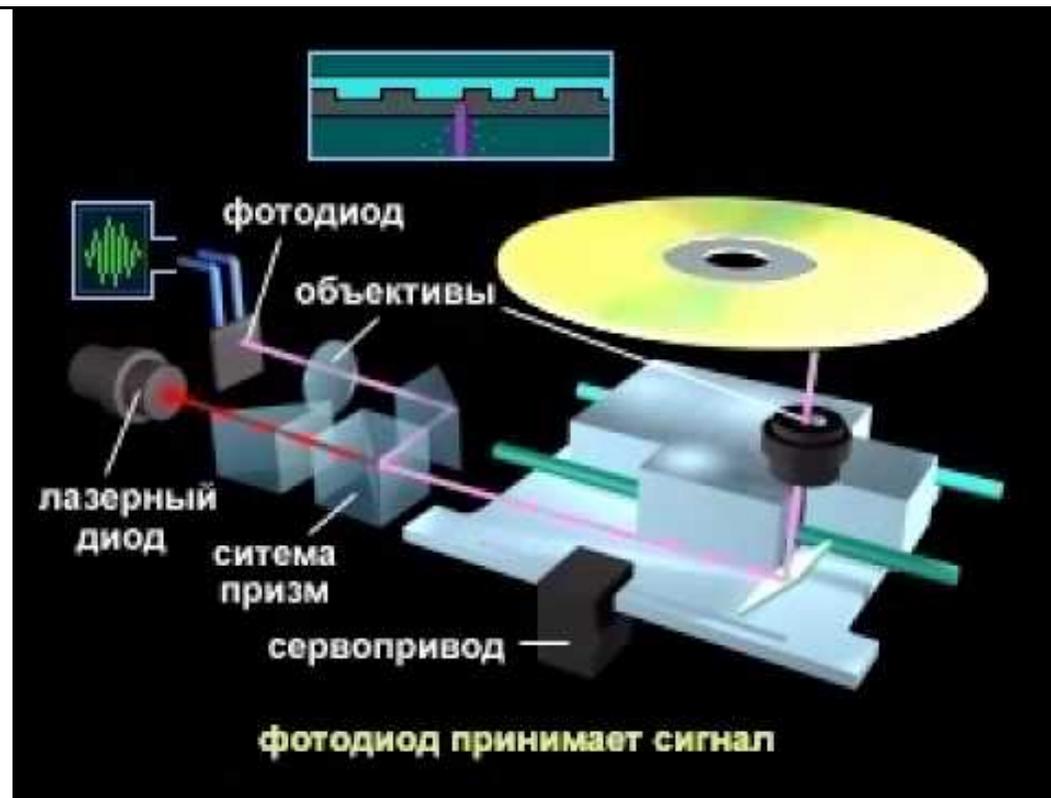
А – слой поликарбоната с отштампованными данными

В – зеркальный отражающий слой

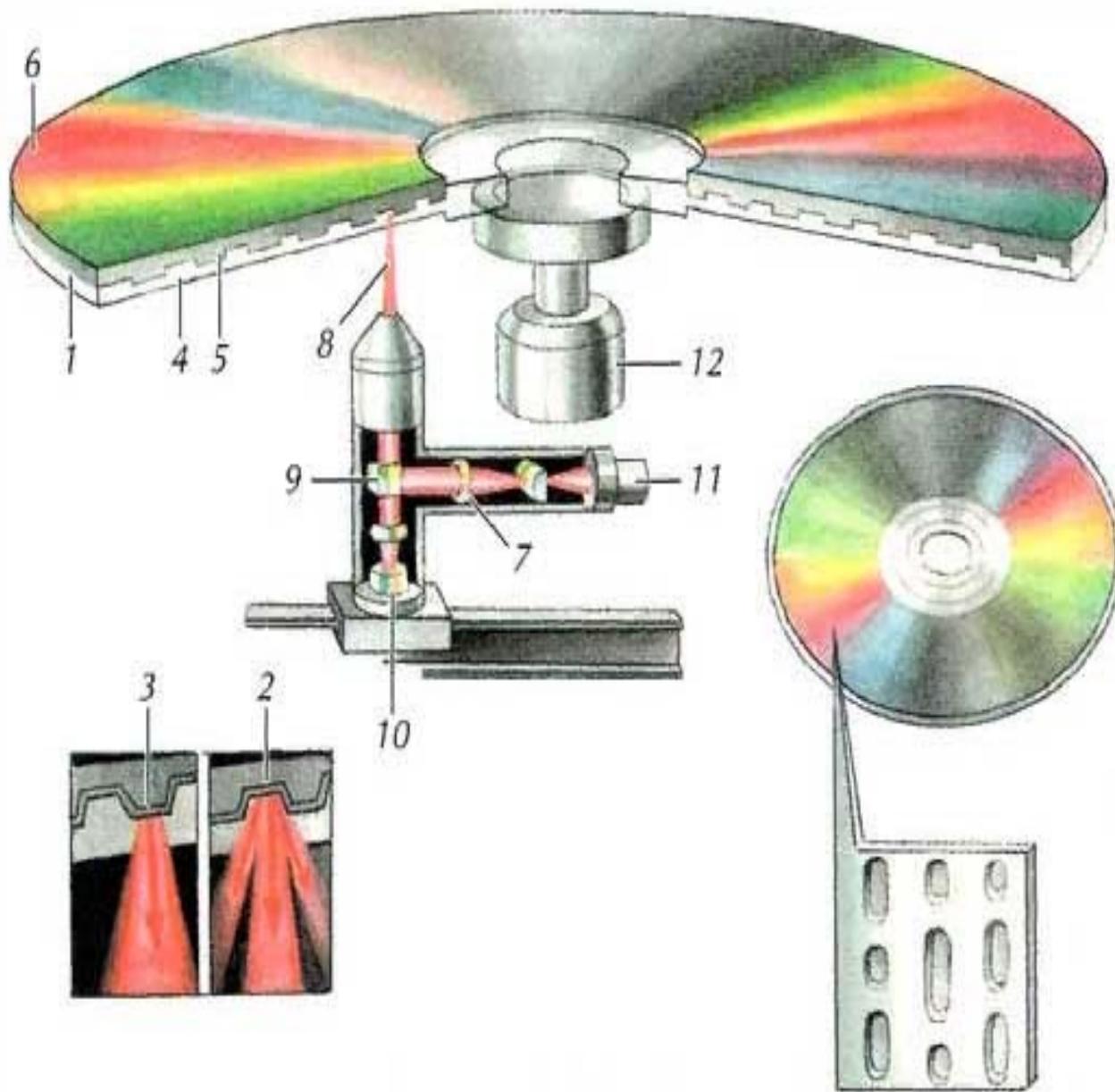
С – защитный лаковый слой

Д – иллюстративный материал на поверхности диска

Е – пучок считывающего излучения. Отраженный сигнал преобразуется в электронные данные



## CD. Считывание информации с компакт-диска

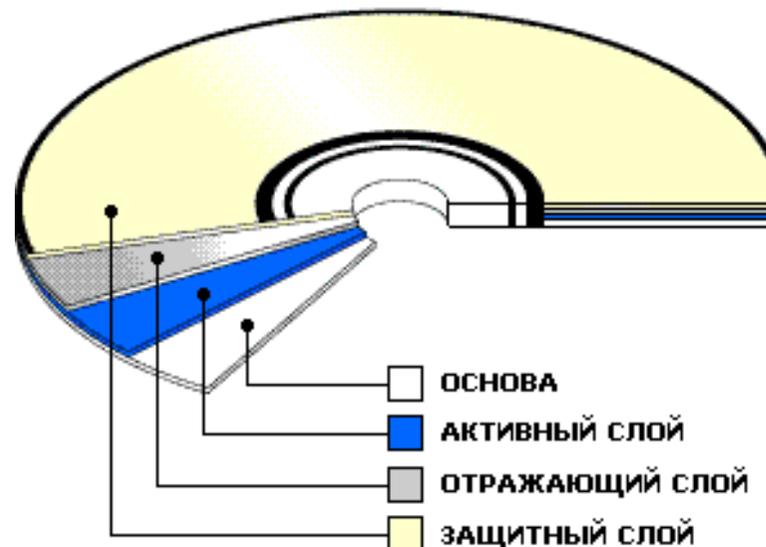


- 1 – компакт-диск;
- 2 – пит;
- 3 – лэнд;
- 4 – светопрозрачное покрытие;
- 5 – отражающее покрытие(записывающая поверхность);
- 6 – защитный слой;
- 7 – фокусирующий объектив;
- 8 – лазерный луч;
- 9 – преломляющая призма;
- 10 – фотодетектор;
- 11 – лазерное устройство;
- 12 – двигатель, вращающий диск

# CD-R. Запись цифровой информации

Поликарбонатный диск имеет направляющую спиральную дорожку. Со стороны этой дорожки поверхность покрыта записывающим слоем (органический краситель), затем идет отражающий слой (серебро, золото). Далее идет слой защитного лака, на который краской наносятся надписи и рисунки

Строение CD-R диска



## Типы записывающего слоя:

**Цианин** – сине-зеленый цвет рабочей поверхности. Химически нестоек, недолгое хранение записанной информации

**Азо-краситель** – тёмно-синий цвет рабочей поверхности. Химически стоек, информация хранится до 100 лет

**Фталоцианин** – бледно салатный или золотистый рабочий слой. Менее чувствительны к солнечному свету и УФ излучению, информация может храниться сотни лет

Прожигание записывающего слоя - необратимый химический процесс. Поэтому записанную на CD-R информацию нельзя стереть, однако информацию можно записывать по частям - сессиями

## CD-RW . Многократная перезапись

Технология CD-RW - в отличие от CD-R позволяет проводить многократную (~ 1000 раз) перезапись данных  
CD-RW был представлен в 1997 г. (CD-E, стираемый компакт-диск). Похож на CD-R, но записывающий слой изготовлен из халькогенидных сплавов (Ag, In, Sb, Te), которые после плавления в зависимости от скорости остывания могут переходить либо в кристаллическое, либо в аморфное (стеклообразное) состояние



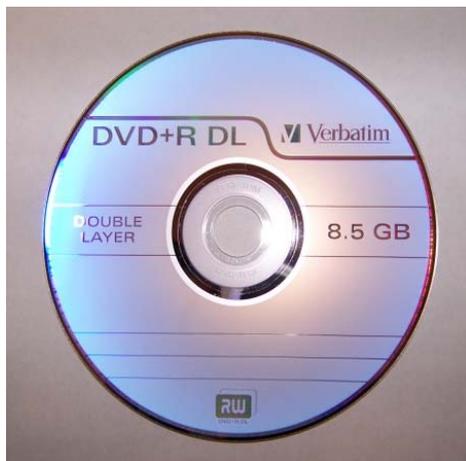
- Излучение переводит рабочий слой из кристаллического состояния в расплав.
- За счет быстрой теплоотдачи расплав охлаждается и переходит в фазу стекла.
- Коэффициенты отражения в кристаллическом и аморфном состояниях разные, поэтому интенсивность отраженного света несет информацию о том, что записано в данной точке на диске.
- Считывание информации происходит при пониженной интенсивности излучения и не меняет фазовое состояние. Перед новой записью рабочий слой возвращается в исходное кристаллическое состояние. Для этого используется двухступенчатый процесс: короткий мощный импульс расплавляет активный слой, а длинный менее мощный импульс обеспечивает его медленное остывание

# DVD, HD-DVD и Blu-ray оптические диски.

**DVD (1996)**  
**635 или 650 нм**  
**4.7 Гбайт**  
**DL (double layer)**  
**DS (double side)**  
**До 17 Гбайт**  
**DVD-R**  
**DVD-RW**  
**DVD-R(W)**  
**DVD+R(W)**

**Blu-ray (2006)**  
**405 нм**  
**25 Гбайт**  
Sony, Panasonic,  
Samsung, LG etc.  
**UltraHD Blu-ray**  
**до 100Гбайт**

**HD DVD (2006)**  
**405 нм**  
**25 Гбайт**  
NEC, Toshiba,  
Sanyo

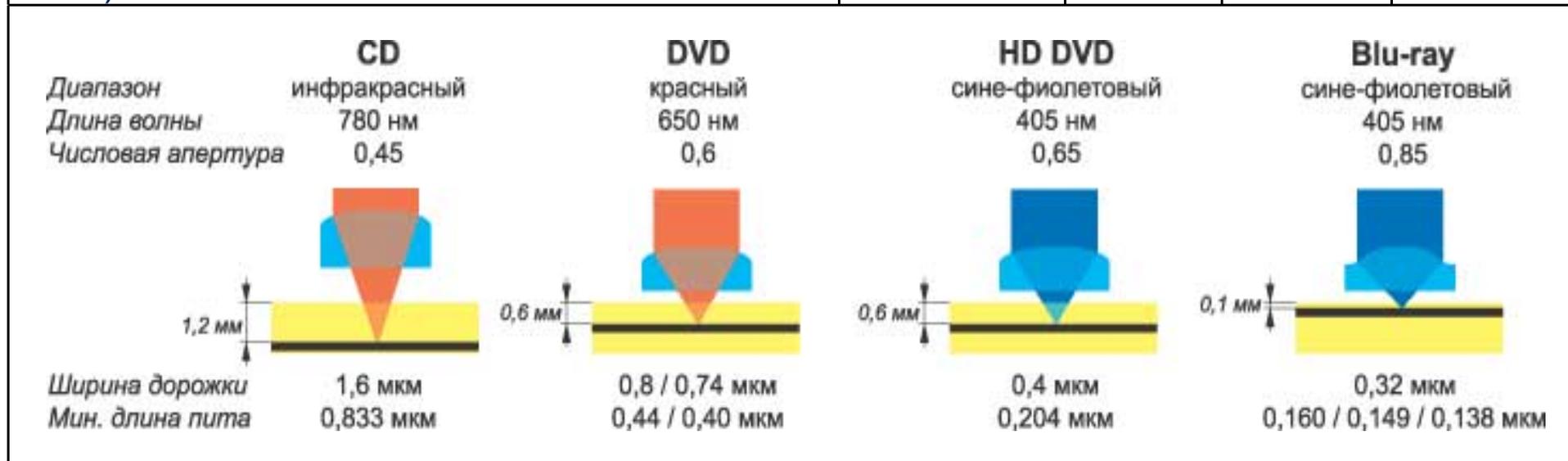


# Сравнение параметров CD, DVD, HD DVD и Blu-ray

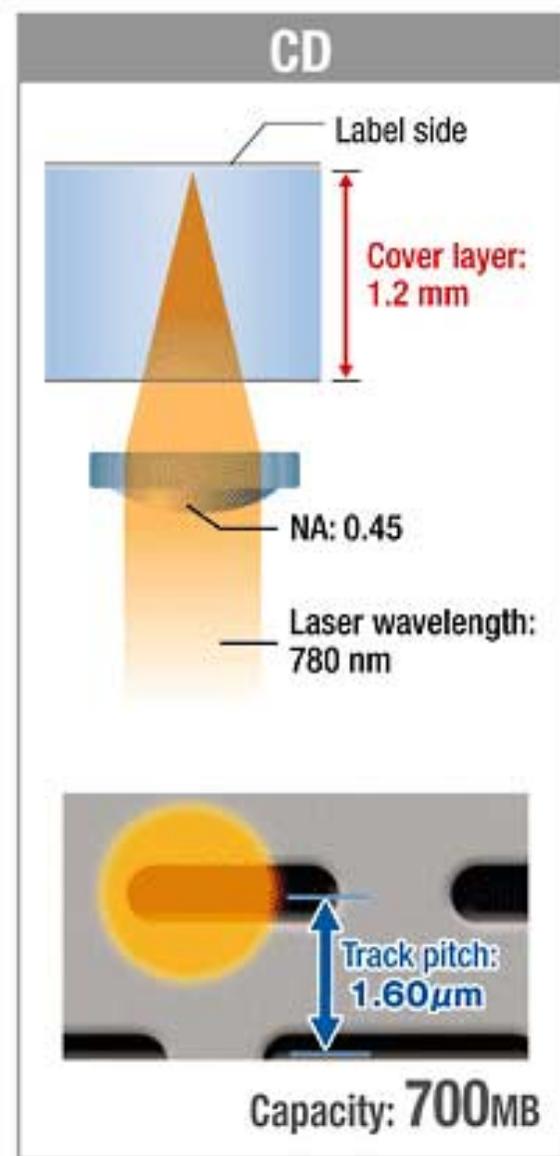
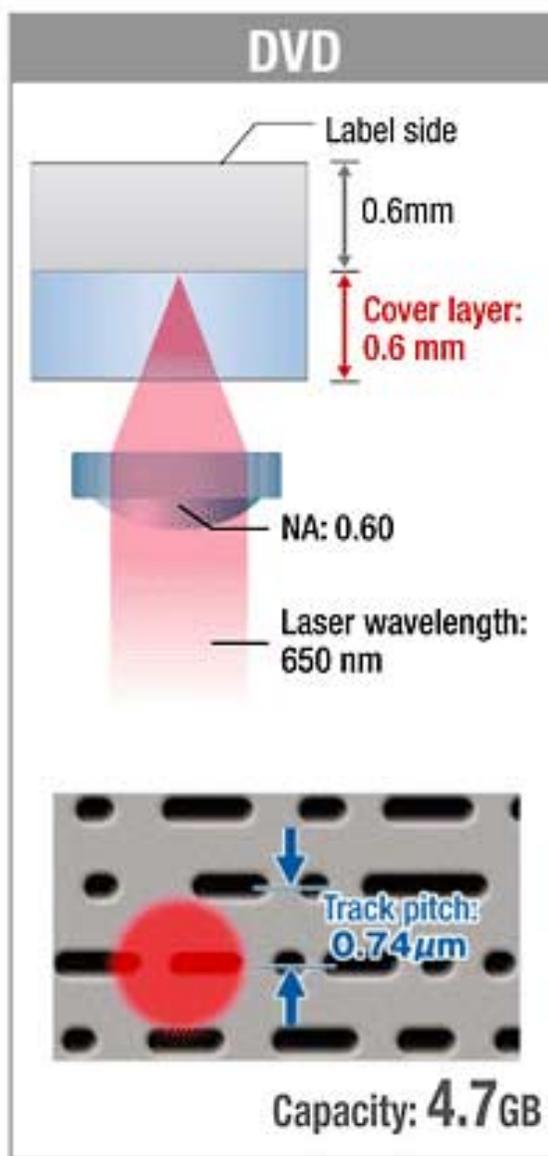
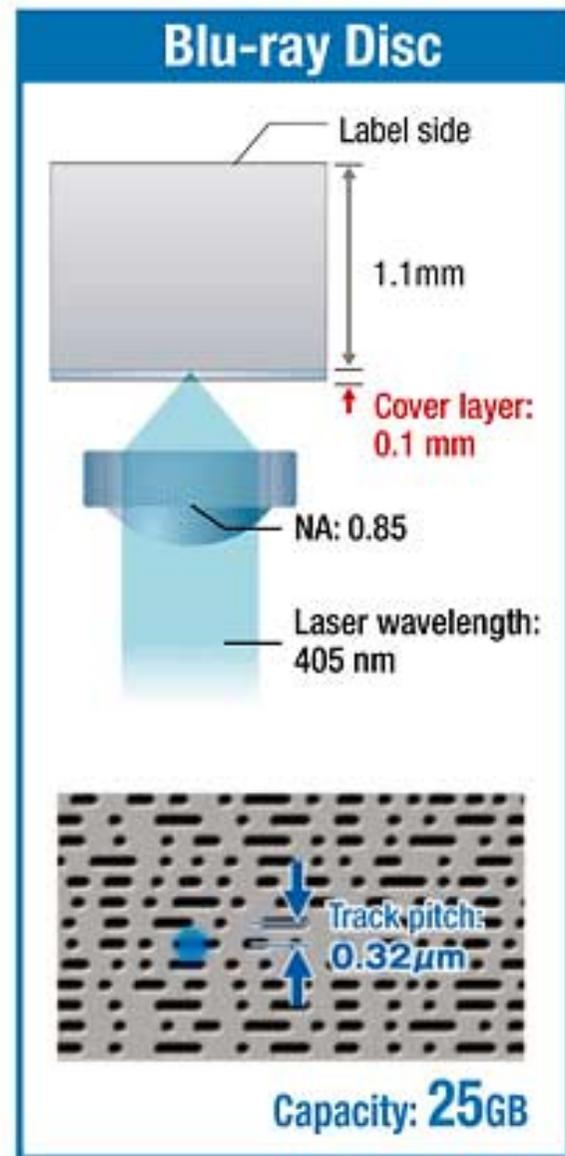
Дальнейшее увеличение плотности оптической записи информации связано с уменьшением размера пятна фокусировки  $w = 1,22\lambda F / D$  за счет:

- уменьшения длины волны используемого для записи/чтения излучения  $\lambda$  (780 – 605 – 405 нм)
- увеличения относительного отверстия (D/F) фокусирующей оптики (0.45 – 0.6 – 0.85)

Формат	DVD	HD DVD	Blu-Ray
Длина волны, нм	650	405	405
Емкость слоя, Гб	4,7	15	27
Толщина диска, мм	0,6+0,6	0,6+0,6	1,1+0,1



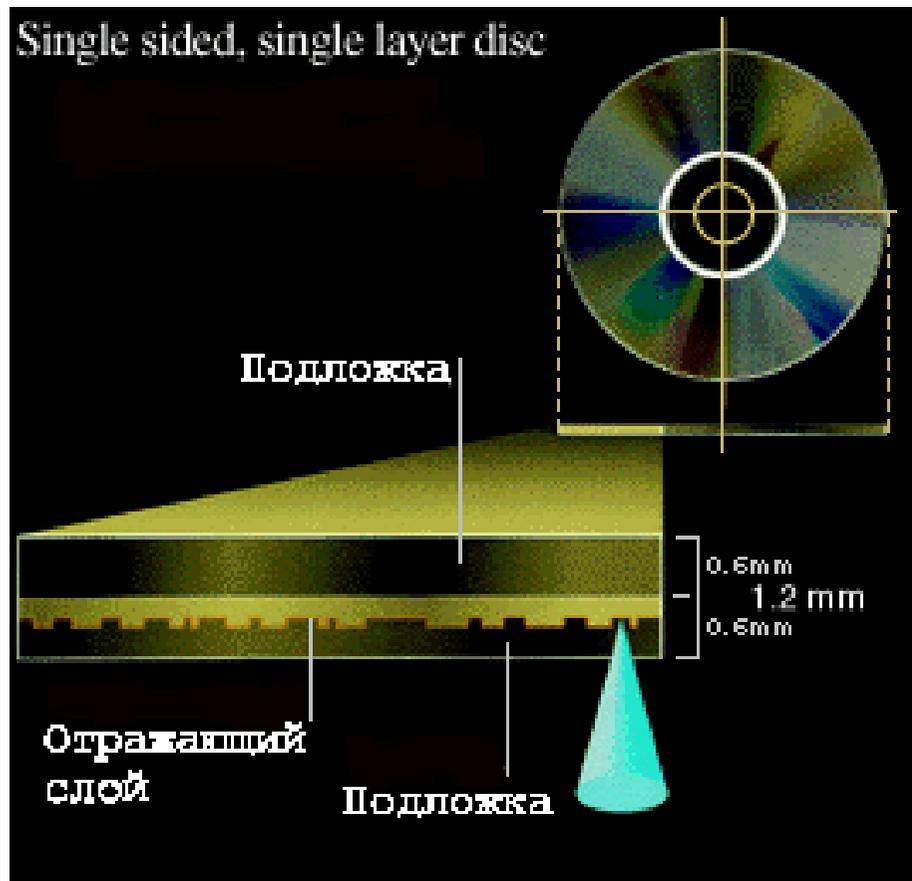
# Сравнение параметров CD, DVD и Blu-ray



# Многослойные диски и 2.5D технологии

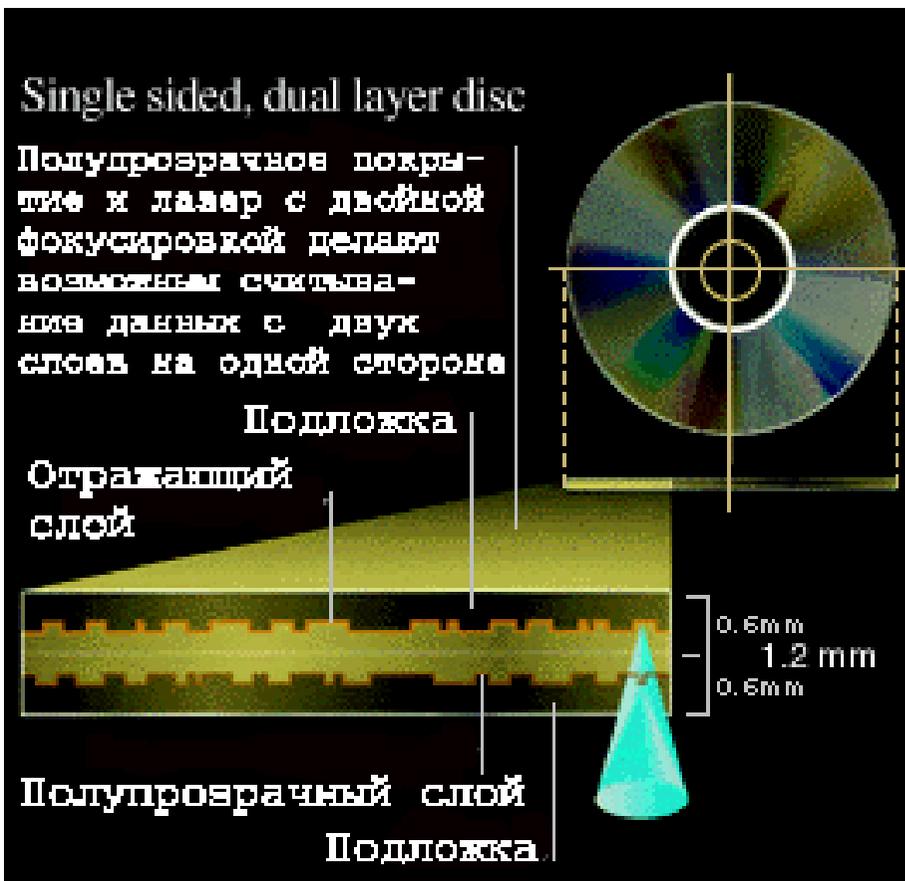
Быстрое изменение диаметра пучка по продольной координате при жесткой фокусировке дает возможность создания многослойных дисков, в которых выбор слоя проводится продольным перемещением объектива

Single sided, single layer disc



Single sided, dual layer disc

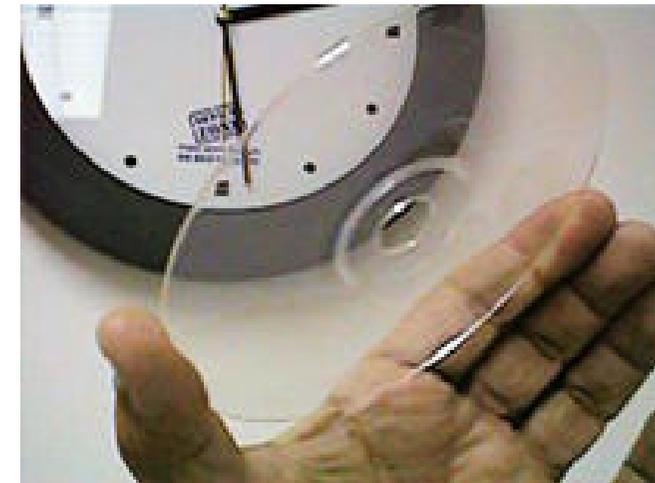
Полупрозрачное покрытие и лазер с двойной фокусировкой делают возможным считывание данных с двух слоев на одной стороне



Структура слоев в однослойном и двухслойном DVD. Экспериментально реализована шестислойная запись/чтение

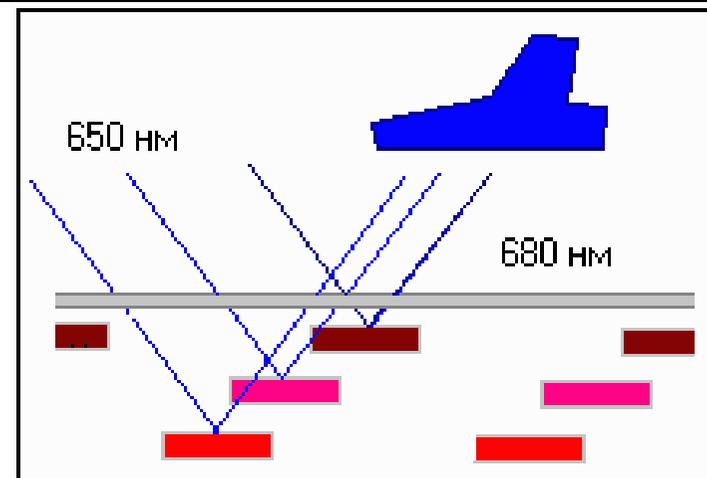
# Многослойные диски и 2.5D технологии

Еще в 2002 - **Constellation 3D**, Fluorescent Multilayer Disc (FMD флуоресцентный многослойный диск).  
Используется материал, при записи приобретающий флуоресцентные свойства. Активированные «питы» слоев (до 100 (!) при чтении излучают свет, смещенный по длине волны относительно читающего излучения. Смещение – разное для разных слоев, что дает возможность разделить информацию, полученную от каждого слоя.



Согласно спецификации:

- |                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| • емкость слоя (DVD)        | 4,7 Гбайта     |
| число слоев первых дисков   | 12 – 30        |
| • общая емкость             | 20 - 140 Гбайт |
| Использование синего лазера |                |
| емкость                     | > 1 ТБ         |
| Параллельное чтение данных  |                |
| передача                    | > 1 Гбит/с     |

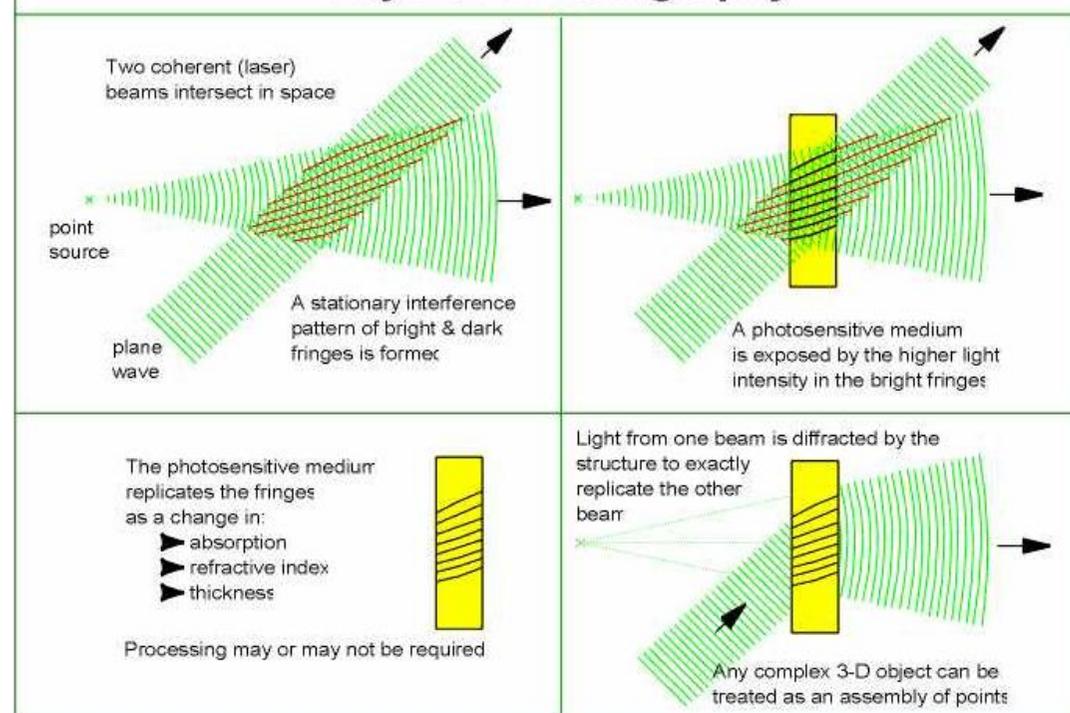


# 3D оптическая память и голография

В **голографии** в некой области пространства складывают две волны: одна из них идет от источника (опорная волна), а другая отражается от объекта записи (объектная волна). Результат их интерференции - сложная картина светлых и темных полос – регистрируют на фотопластинке (или ином фоточувствительном материале). Если теперь эту пластинку осветить только опорной волной, то в результате дифракции возникнет объектная волна и мы будем видеть такой же свет, какой отражался бы от объекта записи



## Physics of Holography



Первая голограмма - 1947, Деннис Габор, эксперименты по повышению разрешающей способности электронного микроскопа. Он же ввел термин «голография», подчеркивающий полную запись оптических свойств объекта

# 3D оптическая память и голография

В схема Габора объектная и опорная волны падают на пластинку с одной стороны. Формируется просветная голограмма и для восстановления нужен источник света с той же  $\lambda$ , на которой проводилась запись

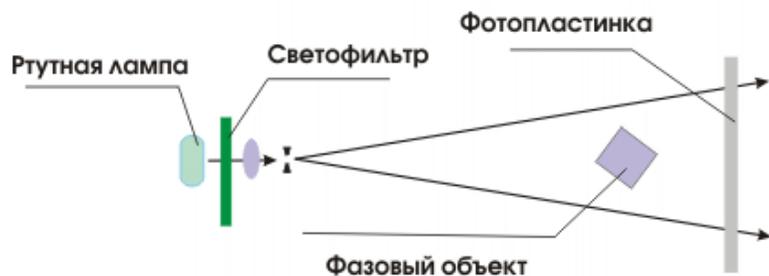


Схема записи голограммы Габора

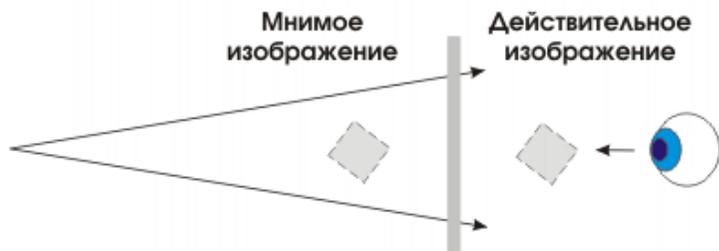
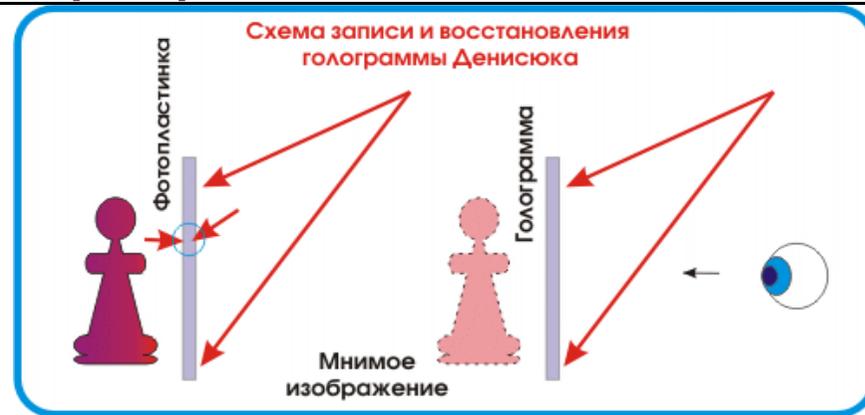


Схема воспроизведения голограммы Габора



В схеме Денисюка (1962) объектная и опорная волны падают на фотопластинку с разных сторон. Формируется отражательная голограмма, которая при чтении сама вырезает из сплошного спектра нужный участок. Благодаря этому изображение голограммы видно в обычном белом свете

Яркость голограмм может быть увеличена с использованием лазерных технологий записи и отображения

# 3D оптическая память и голография

## Фотохромные материалы



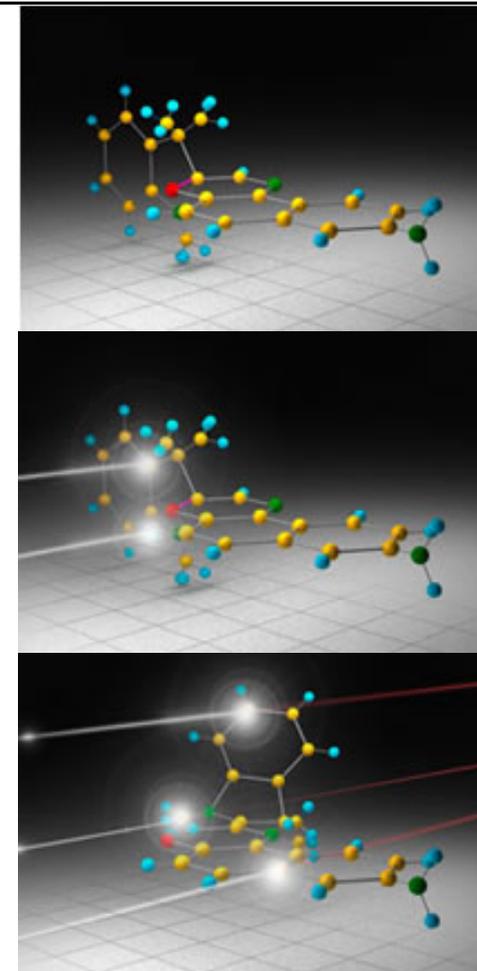
Очки со стеклами «хамелеон»

**Фотохромизм** - изменение окраски (спектра поглощения) под действием света. Вместе с изменением цвета вещество обычно меняет и другие химико-физические характеристики. Различают **химический** и **физический** фотохромизм:

**Химический** - следствие внутри- и межмолекулярных обратимых фотохимических реакций (диссоциация, димеризация, изомеризация и др.)

**Физический** - следствие перехода атомов или молекул из основного синглетного в возбуждённые синглетные либо триплетные состояния. Это происходит только под действием очень мощных световых потоков

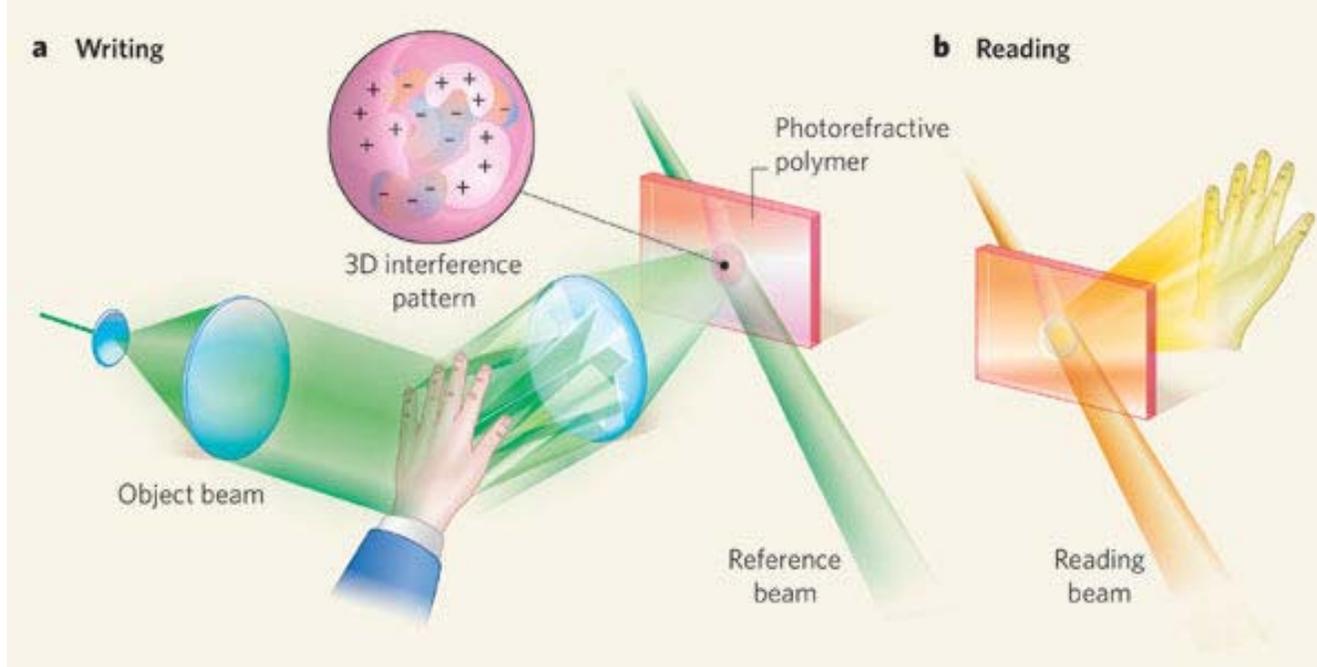
Для получения объёмных фазовых структур требуются вещества, меняющие свои оптические свойства под действием света



# 3D оптическая память и голография

## Фоторефрактивные материалы

**Фоторефракция** - изменение показателя преломления вещества под действием света. Параллельно с этим вещество может менять и другие химико-физические характеристики



Фоторефрактивный эффект в дефектных сегнетоэлектриках (ниобаты лития и калия, титанат стронция, SBN и др.) широко используется в динамической голографии. Изменение показателя преломления происходит как результат сложной цепочки физических процессов:  
поглощение квантов света приводит к появлению в среде свободных носителей  
диффузия и дрейф последних разделяет заряды, за счет этого возникает электростатическое поле  
это поле меняет показатель преломления благодаря эффекту Поккельса

# 3D оптическая память и голография

1963 - предложена технология хранения данных при помощи голографии

Наибольшие успехи у InPhase Technologies и IBM:

IBM - запись видеоролика в фоторефрактивном кристалле ниобат лития

InPhase Technologies – первый дисковый накопитель, основанный на использовании современных фоторефрактивных материалов и реализующий возможности голографии на новом техническом уровне



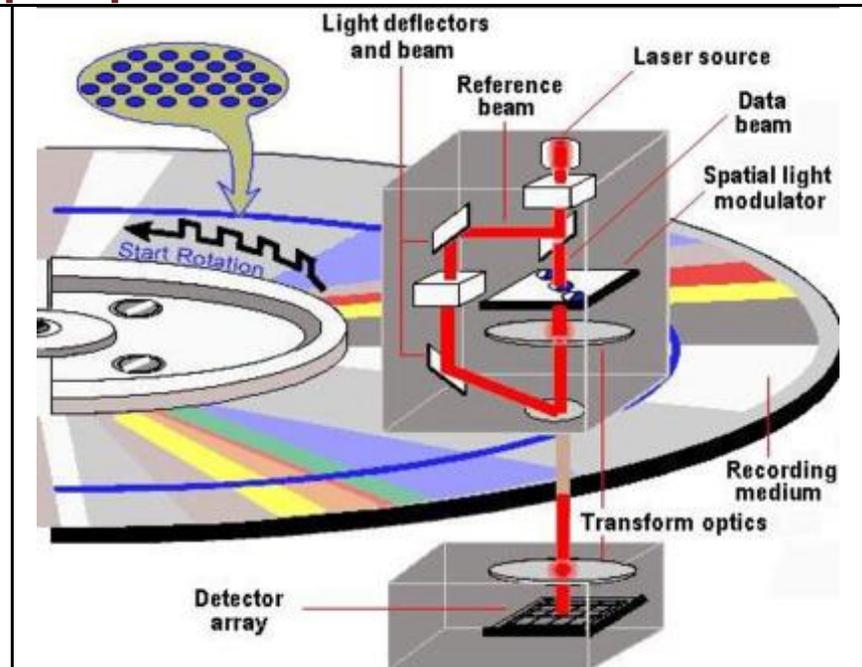
*Голографическая память  
InPhase technologies*

# 3D оптическая память и голография

Голографический диск (**Holographic Versatile Disc, HVD**) – диск со значительно большим объемом хранения данных по сравнению с Blu-ray. Для чтения используется два лазера. Сине-зеленое излучение читает данные, закодированные в голографическом слое вблизи поверхности диска. Красное излучение используется для чтения серво-сигналов с CD-слоя в глубине диска. Серво-информация используется для отслеживания позиции чтения. На CD или DVD эта информация внедрена в данные.

HVD диски имеют емкость до 3.9 ТБ, что сравнимо с 6000 CD, 830 DVD или 160 однослойными дисками Blu-ray. Скорость передачи данных 1 Гбайт/сек. Optware и Maxell собирались выпустить 200 и 300 ГБ диски еще в 2006 г.

*Голографическая память  
InPhase technologies*

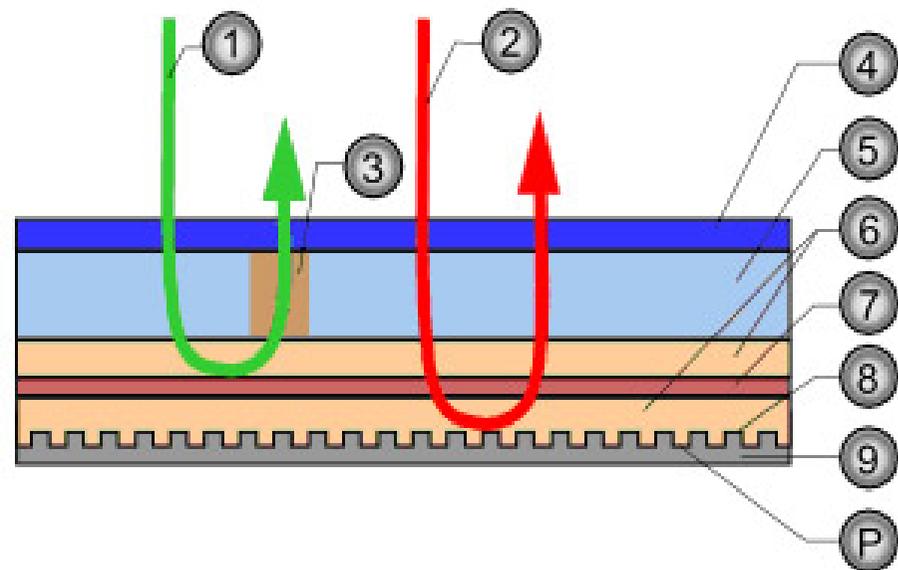


# 3D оптическая память и голография

## Голографический диск (HVD)

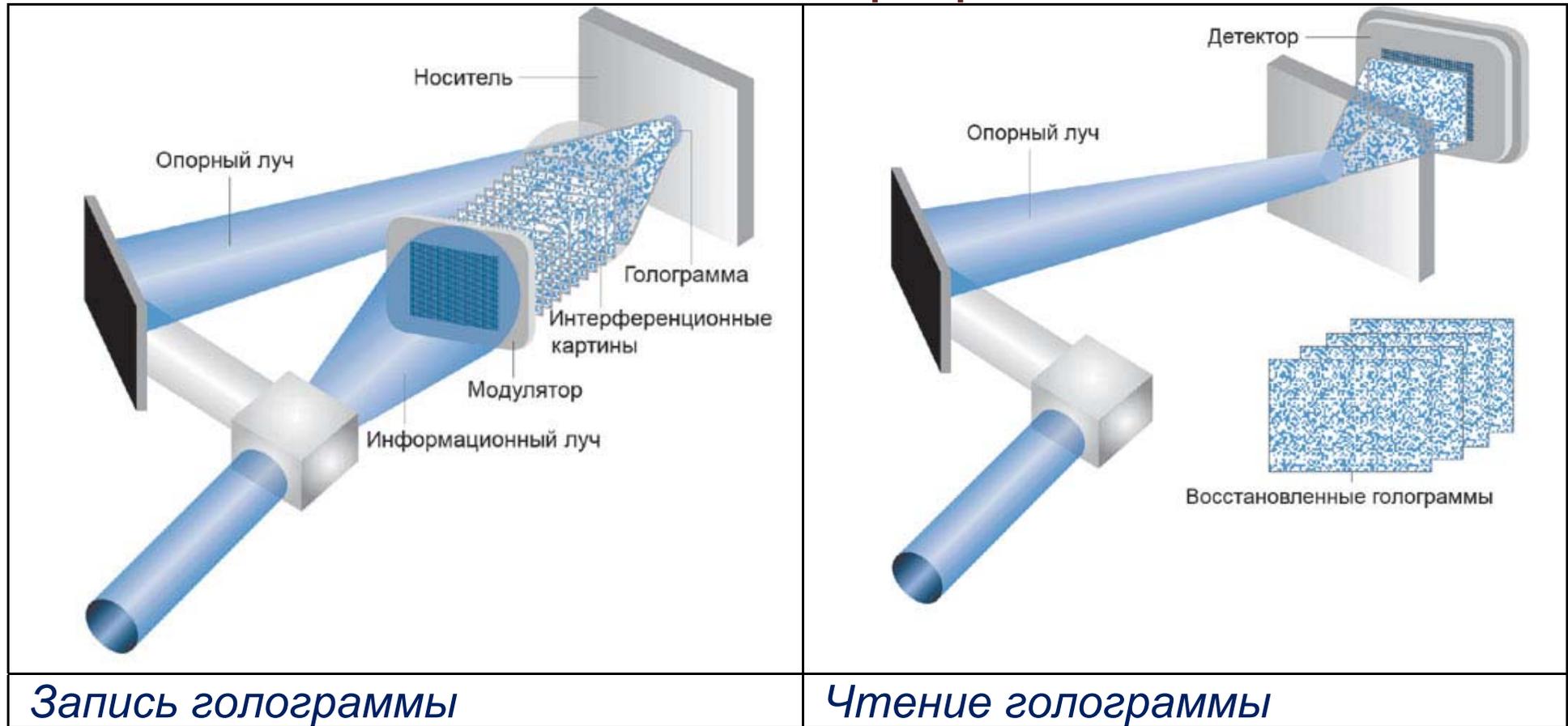
Структура HVD диска:

1. Зеленый лазер чтения/записи (532 нм)
  2. Красный позиционирующий/индексный лазер (650 нм)
  3. Голограмма (данные)
  4. Поликарбонатный слой
  5. Фотополимерный (photopolimeric) слой (слой с данными)
  6. Разделяющий слой (distans layers)
  7. Слой отражающий зеленый цвет (dichroic layer)
  8. Алюминиевый слой (отражает красный свет)
  9. Прозрачная основа
- P. Питы (pits)



*HVD и его структура*

# 3D оптическая память и голография

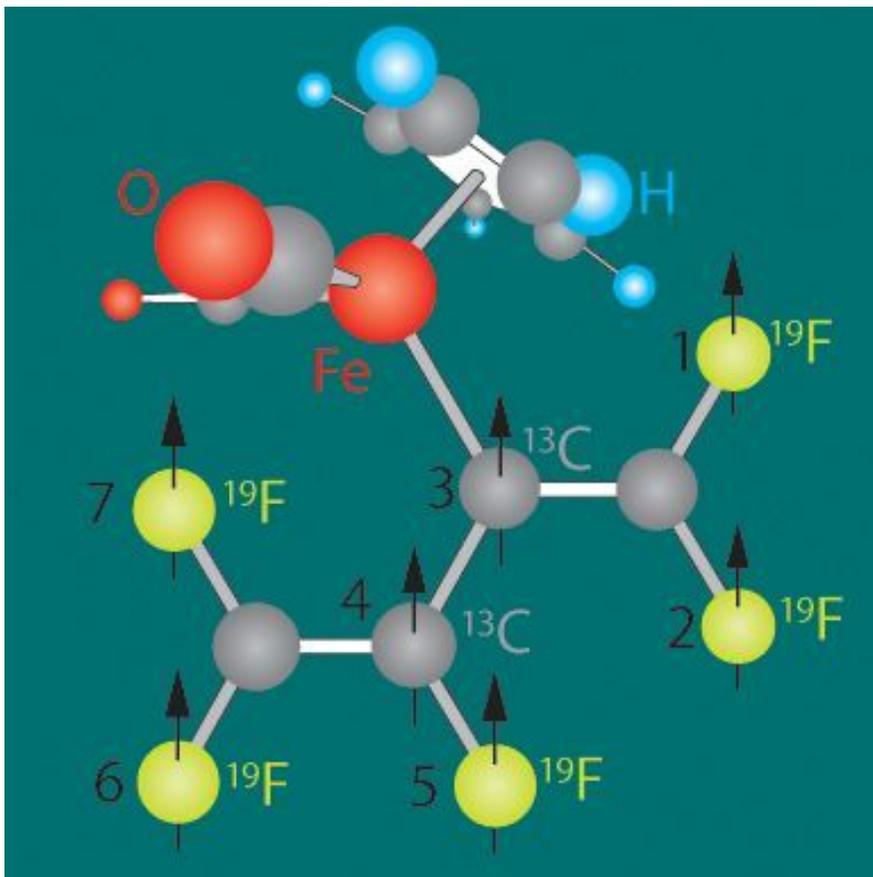


*Запись голограммы*

*Чтение голограммы*

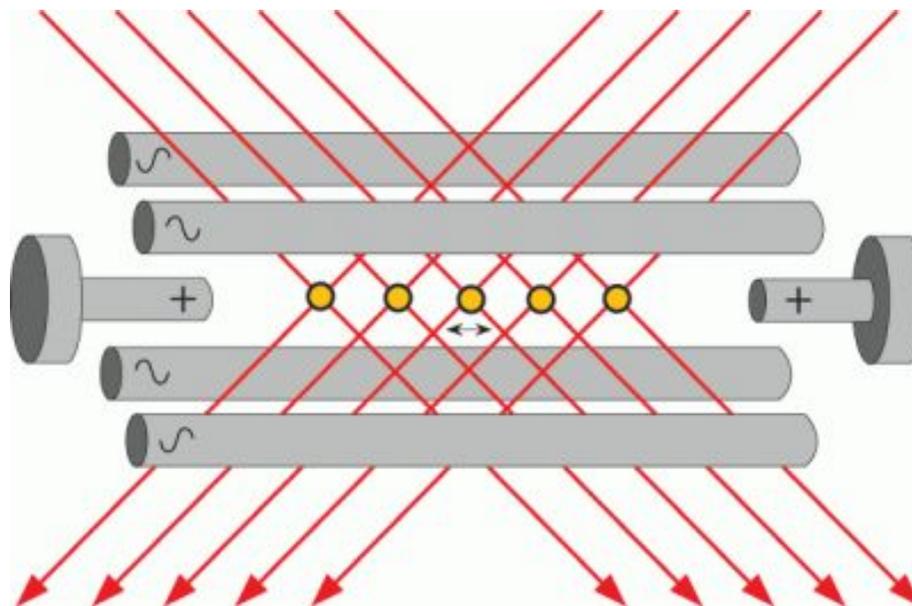
# Перспективные технологии. Квантовый компьютер

Как построить квантовый компьютер?



7-кубитовая молекула, созданная в фирме IBM. Система из 7 ЯМР-кубитов

**Ионная ловушка** как квантовый процессор. В линейной структуре благодаря взаимному отталкиванию ионы находятся на расстоянии  $\sim 20$  мкм. Каждый ион адресуется парой лазерных лучей и представляет собой кубит



# Перспективные технологии.

Спинтроника.

Чисто оптические компьютеры

Лазеры и Q-биты

Ионные ловушки