

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Внешняя память в ЭВМ (II)

Использование оптических явлений для повышения плотности записи информации на магнитных носителях

Магнитооптика

«Чисто» оптическая память - компакт диск (CD)

Физические процессы и предельная плотность записи информации в оптике

Записываемые (R) и перезаписываемые (RW) CD и DVD диски

Blu-ray и HD-DVD технологии

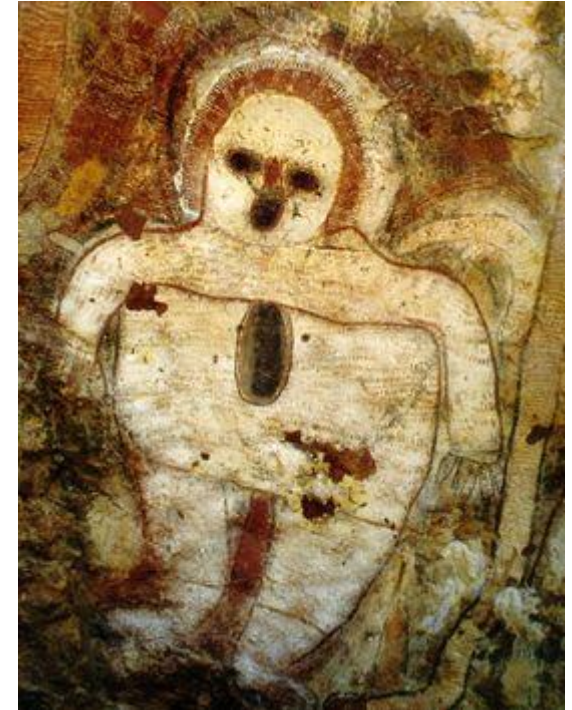
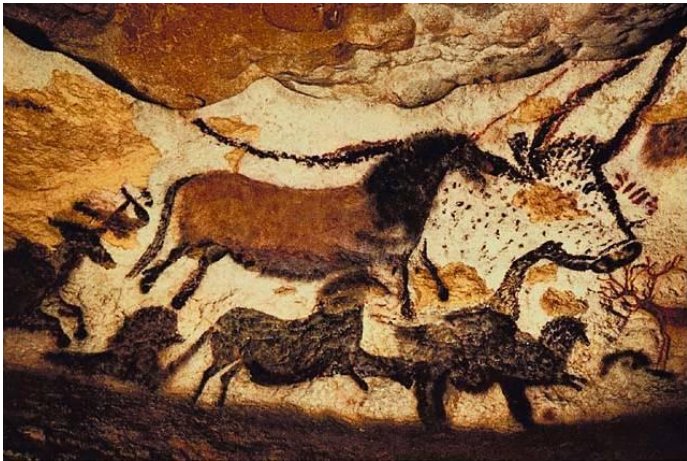
Трехмерная (3D) оптическая память и голография: фоторефрактивные и фотохромные материалы, голографический диск (HVD)

Молекулярная память

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

История оптической памяти

Пещерная (наскальная) живопись - изображения в пещерах, выполненные людьми эпохи палиолита. Большинство объектов найдено в Европе, т.к. именно там древние люди были вынуждены жить в пещерах и гротах, спасаясь от холодов.



Палеолит (древнекаменный век) - первый период каменного века: начало - использование каменных орудий (~ 2,5 млн. лет назад); конец - появление земледелия (~10 тыс. лет до н.э.)

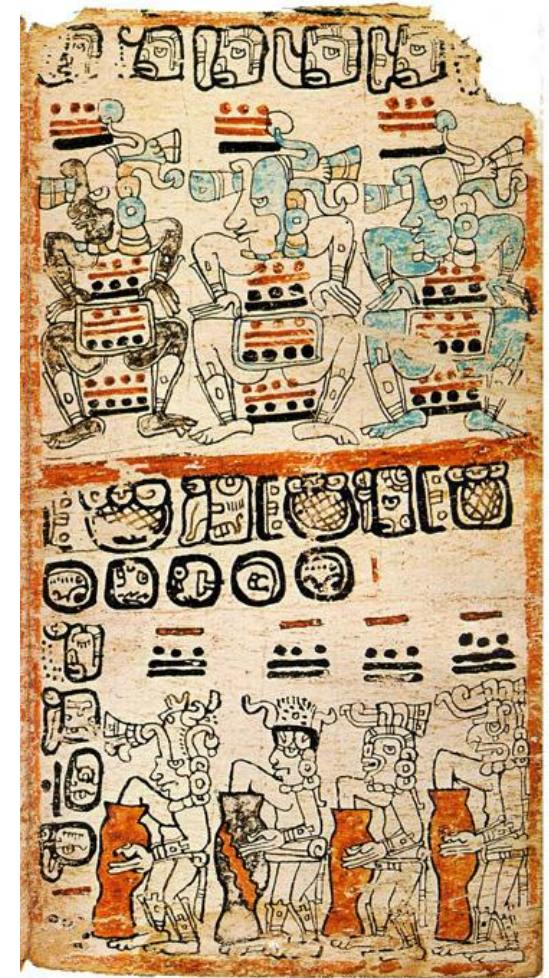
Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

История оптической памяти

Летопись - исторический жанр древнерусской литературы, представляющий собой годовую, более или менее подробную запись исторических событий. Запись событий каждого года здесь обычно начинается словами: «в лето ...» (то есть «в году ...»), отсюда и название - летопись. В Византии аналоги летописи назывались хрониками, в Западной Европе в Средние века анналами и хрониками



Мадридский кодекс - летопись майя и ацтеков - жреческие требники, указывающие, в какой день и каким богам нужно делать жертвоприношение

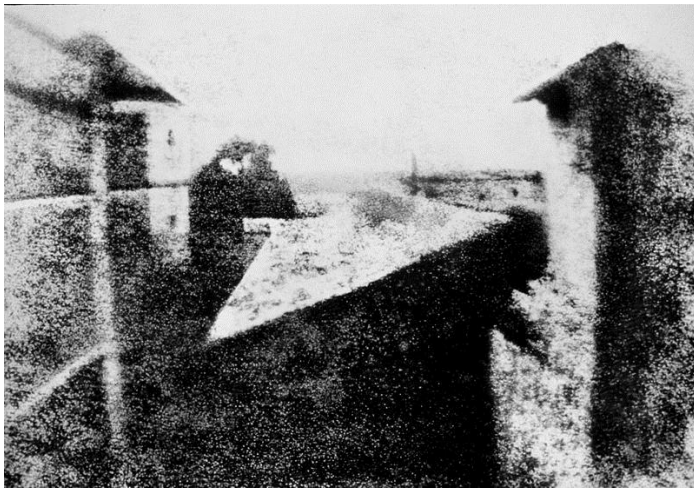


*Летопись майя
«Мадридский кодекс»*

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

История оптической памяти

Фотография - получение и сохранение статичного изображения на светочувствительном материале (фотопленке или фотографической матрице) при помощи фотокамеры



1826 - Вид из окна

Камера-обскура



1822 - Ньепс Жозеф Нисефор, первое закреплённое изображение (не сохранилось). Поэтому первой в истории фотографией считается снимок «Вид из окна» (1826), полученный с помощью камеры-обскуры на оловянной пластинке, покрытой тонким слоем асфальта

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Фоточувствительные (фотохромные) материалы



Непроявленная фотопленка

Фотопленка - фотоматериал на гибкой прозрачной основе (стеклянная основа – фотопластинка, непрозрачная основа – фотобумага). Представляет собой лист пластика, на который нанесена фотоэмульсия, содержащая галогенид серебра.

После освещения на фотопленке формируется скрытое изображение, которое делают видимым с помощью химических реакций

Фотохромизм - изменение окраски (коэффициента поглощения) под действием света. Одновременно вещество может менять и другие химико-физические характеристики

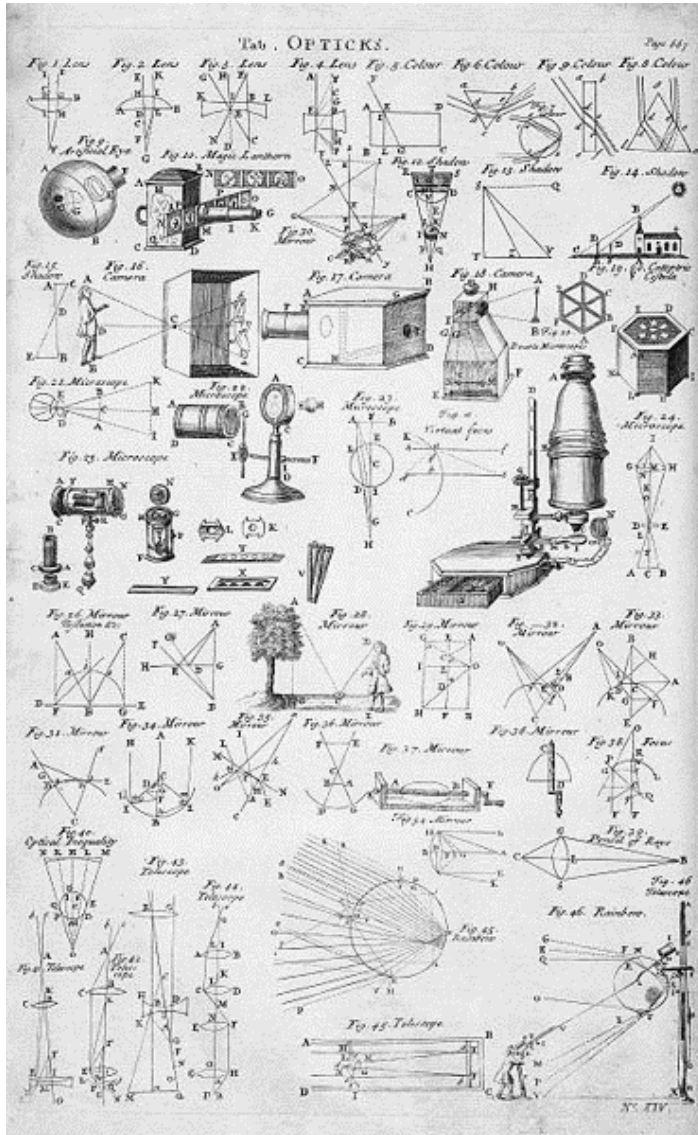


Очки со стеклами «хамелеон»

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Оптика

Оптика - раздел физики, рассматривающий явления, связанные с распространением электромагнитных волн преимущественно видимого и близких к нему диапазонов (ИК и УФ излучение). Оптика описывает свойства света и объясняет связанные с ним явления. Методы оптики используются во многих прикладных дисциплинах, включая электротехнику, физику, медицину ...



ПТОЛЕМЕЙ Клавдий (87-165)
преломление света

Таблица «Оптика» (1728)



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Свет

Свет - поперечная волна электромагнитного поля

Одновременно свет можно описать и как поток фотонов

Зеленый свет

длина волны, $\lambda \approx 0.0005 \text{ мм} = 0.5 \text{ мкм}$

частота, $f \approx 6 \times 10^{14} \text{ Гц}$

1 Ватт $\approx 3 \times 10^{18}$ фотонов/секунду



Спектр электромагнитных волн

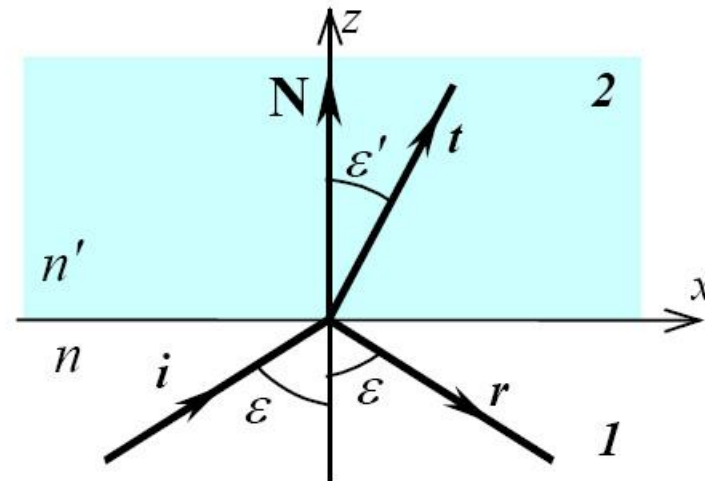
Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Взаимодействие со средой

В оптически однородной среде:

изменение скорости волны - показатель преломления n
изменение ее амплитуды - коэффициент поглощения μ_a

- На границах раздела двух сред (изменение n и μ_a) происходит отражение и преломление



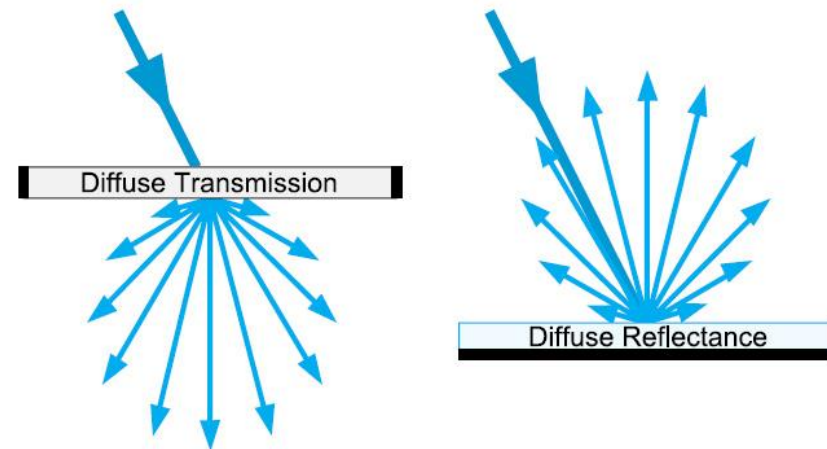
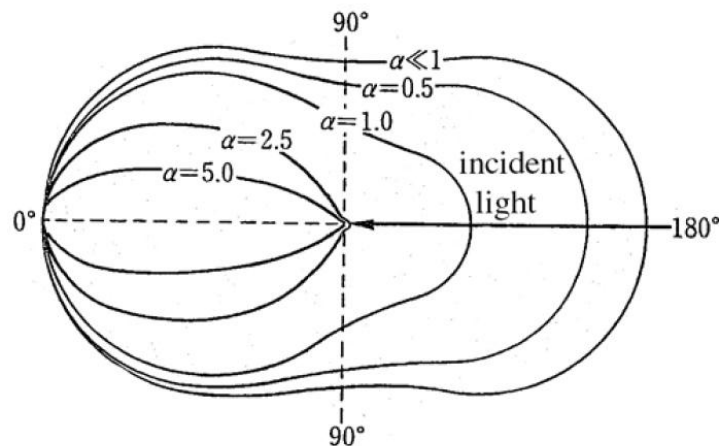
Законы отражения и преломления

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Взаимодействие со средой

В оптически неоднородной среде:

- В среде со случайными неоднородностями при распространении света происходит его рассеяние



Вероятность процесса
- коэффициент рассеяния μ_a
Вероятность изменения направления
распространения на заданный угол
- фазовая функция (индикатриса)

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Геометрическая оптика

Геометрическая оптика основана на эмпирических законах:

Закон прямолинейного распространения света

Закон независимого распространения лучей

Закон отражения света

Закон преломления света

Закон обратимости светового луча (луч повторяет ход при распространении в обратном направлении).

В геометрической оптике действует постулат:

если в некоей точке сходятся две системы лучей, то создаваемые ими освещенности складываются



**СНЕЛЛ ВАН
РОЙЕН** Виллеброрд

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Принцип Ферма

- **Принцип Ферма** - постулат, предписывающий лучу света в геометрической оптике двигаться из начальной точки в конечную точку по пути, минимизирующему время движения (или, что то же самое, оптическую длину пути)



ФЕРМА Пьер

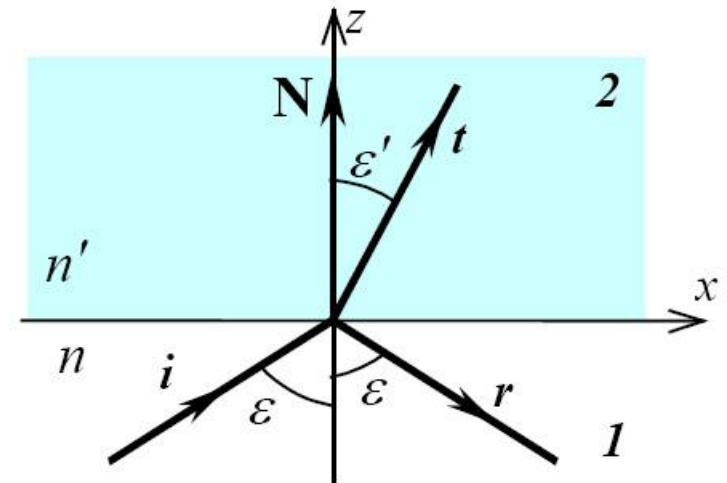
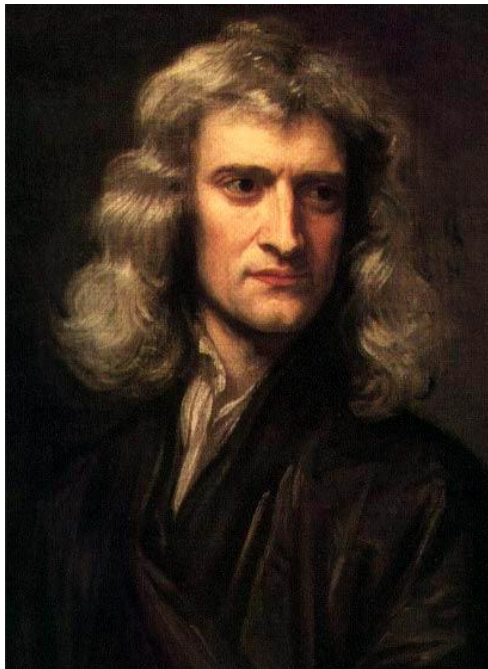
1662 - сформулирован Пьером Ферма как общий закон геометрической оптики. Из этого принципа следуют все известные законы оптики: прямолинейность луча света в однородной среде, законы отражения и преломления света на границе раздела двух сред

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Ньютон и Гюйгенс: корпускулярно-волновой дуализм

Законы отражения и преломления

НЬЮТОН Исаак



Корпускулярная теория:

свет состоит из корпускул, излучаемых светящимся телом

Pro: прямолинейность распространения света
(геометрическая оптика)

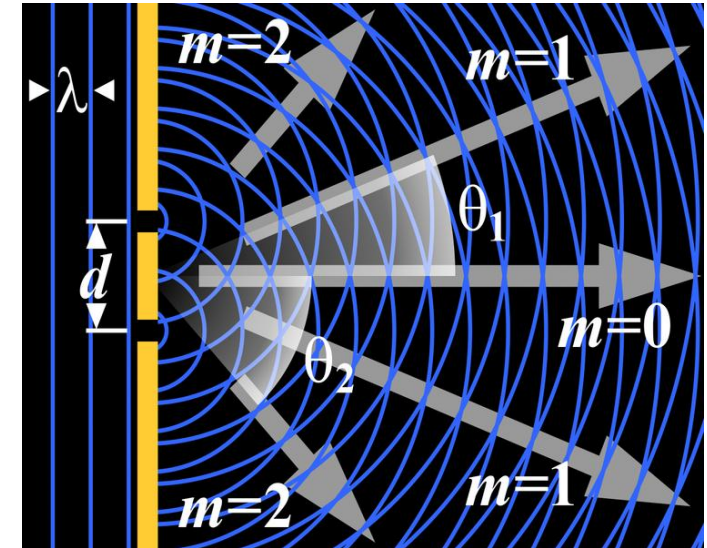
Contra: явления дифракции и интерференции

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Ньютон и Гюйгенс: корпускулярно-волновой дуализм

Дифракция и интерференция

ГЮЙГЕНС Христиан



Волновая теория:

свет является волной в невидимом мировом эфире

Гюйгенс и Гук под волной понимали не периодическое колебание, а одиночный импульс

Развитая волновая оптика появилась в начале XIX века

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

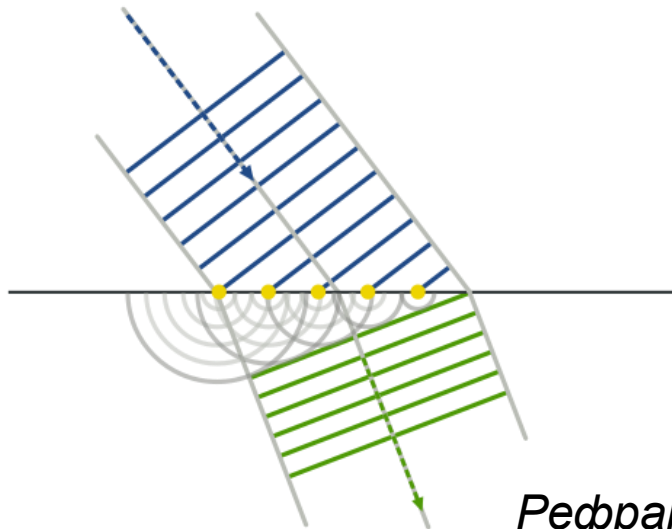
Принцип Гюйгенса - Френеля

1678 г. Гюйгенс:

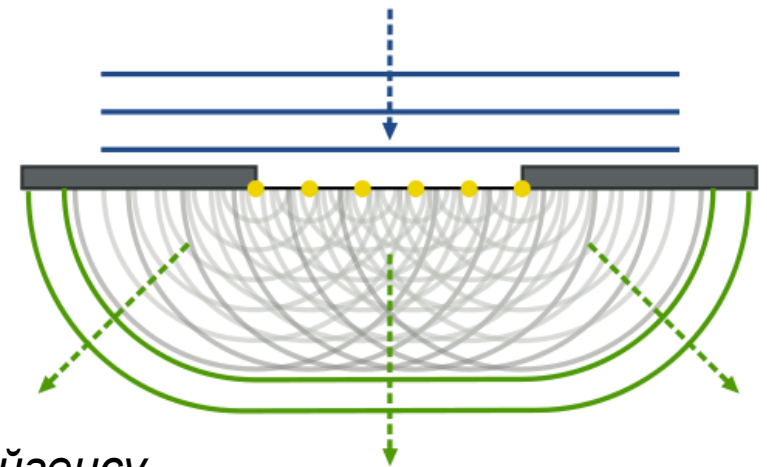
каждая точка поверхности, достигнутая световой волной, является вторичным источником световых волн. Огибающая вторичных волн становится фронтом волны в следующий момент времени.

1815 г. Френель:

дополнил принцип Гюйгенса, введя представления о когерентности и интерференции элементарных волн



Рефракция и дифракция по Гюйгенсу



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Электромагнетизм



ФАРАДЕЙ Майкл

1831 г. – Майкл Фарадей – закон электромагнитной индукции и введение термина «магнитное поле»

1834 г. – Э.Х. Ленц - направление индукционного тока и связанного с ним магнитного поля

1873 г. – Дж.К. Максвелл - «Трактат об электричестве и магнетизме»

1888 г. – Г.Р. Герц - экспериментальное обнаружение электромагнитных волн

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Уравнения Максвелла

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = 4\pi\rho$$

Законы Гаусса

для электрического и магнитного полей

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

Закон индукции Фарадея

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Теорема о циркуляции магнитного поля

E - напряженность электрического поля

H - напряженность магнитного поля

D = $\epsilon\mathbf{E}$ - электрическая индукция

B = $\mu\mathbf{H}$ - магнитная индукция

ρ - плотность свободных зарядов

\mathbf{j} - плотность тока свободных зарядов

c - скорость света



James Clerk Maxwell.

МАКСВЕЛЛ Джеймс
Клерк

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Волновое уравнение

В отсутствие свободных зарядов и токов от уравнений первого порядка (уравнений Максвелла) можно перейти к замкнутым (каждое уравнение зависит только от одного - электрического или магнитного – поля) уравнениям второго порядка:

$$\Delta \mathbf{E} - \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0,$$

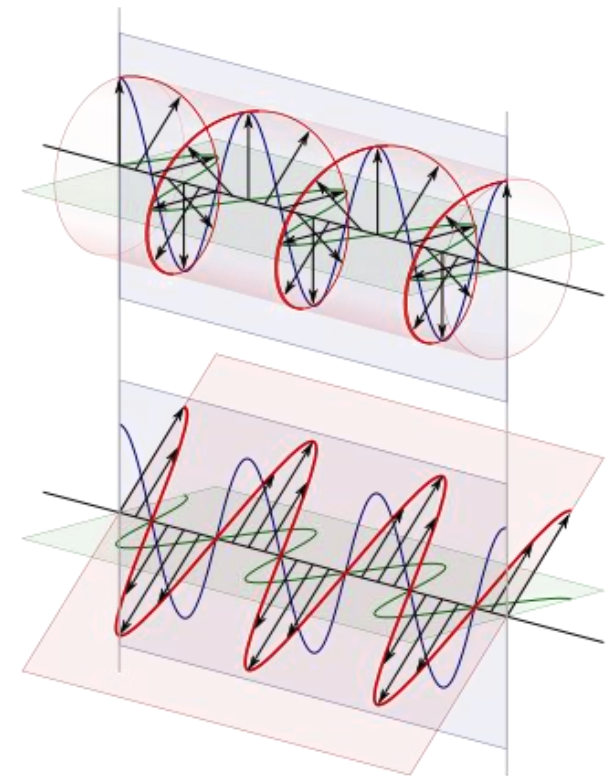
$$\Delta \mathbf{B} - \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = 0.$$

Одно из частных решений

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}\left(\mathbf{nr} - \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}t\right),$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{B}\left(\mathbf{nr} - \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}t\right),$$

- циркулярно и линейно поляризованная плоские волны



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Световой (гауссовский) пучок

$$E(r, z) = E_0 \frac{w_0}{w(z)} \exp\left(\frac{-r^2}{w^2(z)}\right) \exp\left(-ikz - ik\frac{r^2}{2R(z)} + i\zeta(z)\right),$$

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2} \quad \text{- радиус пучка}$$

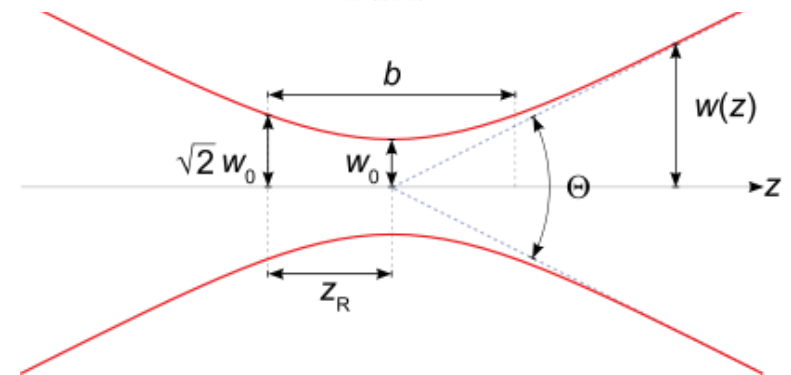
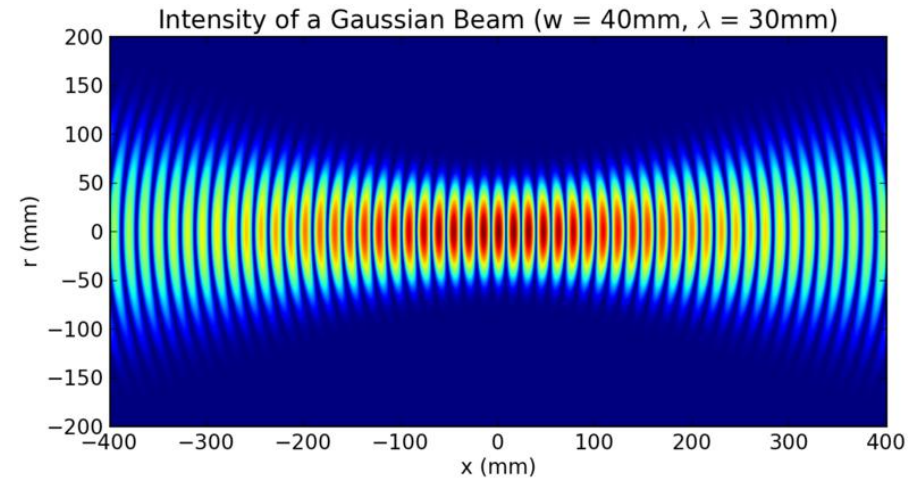
$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{z_R}{z}\right)^2\right] \quad \text{- кривизна фронта}$$

$$\zeta(z) = \arctan\left(\frac{z}{z_R}\right) \quad \text{- фазовый набег}$$

$$z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad \text{- дифракционная длина}$$

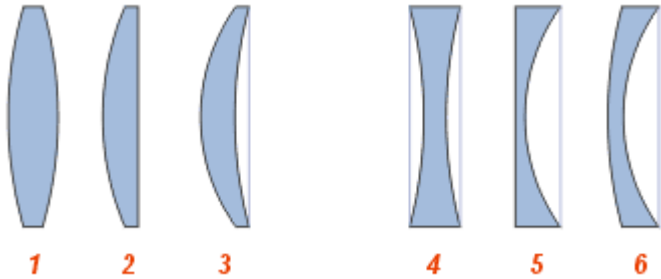
$$b = 2z_R = \frac{2\pi w_0^2}{\lambda} \quad \text{- конфокальный параметр}$$

$$\theta \simeq \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (\theta \text{ in radians.}) \quad \text{- угловая расходимость}$$



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Геометрическая оптика



Виды линз:

Собирающие:

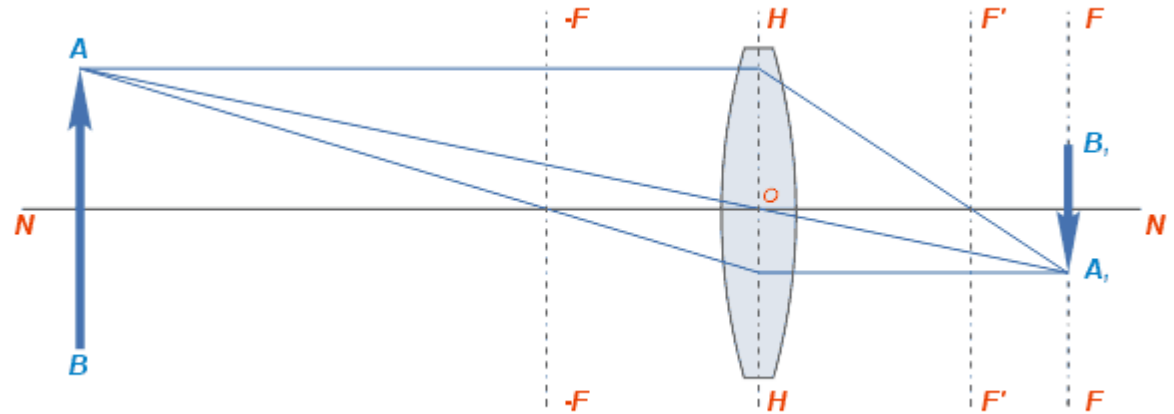
- 1 - двояковыпуклая
- 2 - плоско-выпуклая
- 3 - вогнуто-выпуклая

Рассеивающие:

- 4 - двояковогнутая
- 5 - плоско-вогнутая
- 6 - выпукло-вогнутая

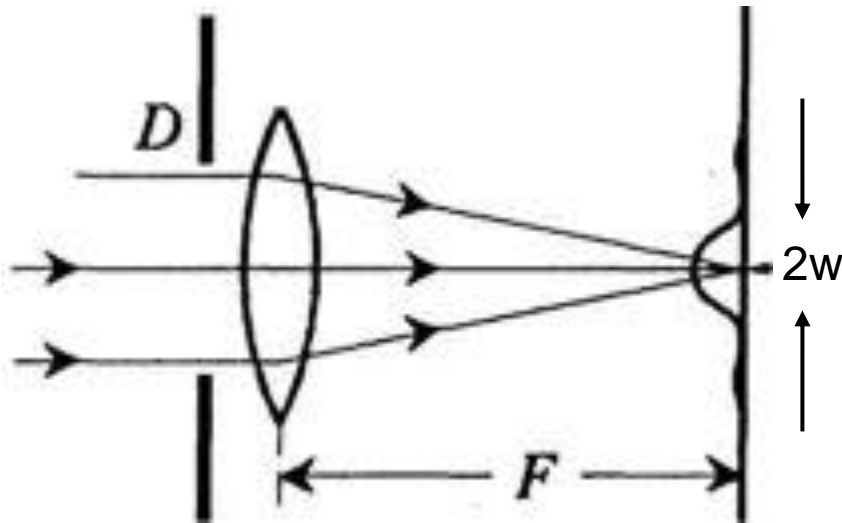
Ход лучей в собирающей линзе:

- NN - оптическая ось
- NN - главная плоскость
- O - оптический центр
- F'F' - фокальная плоскость
- AB - объект (источник излучения)
- A₁B₁ - изображение (действительное)



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Предельная фокусировка



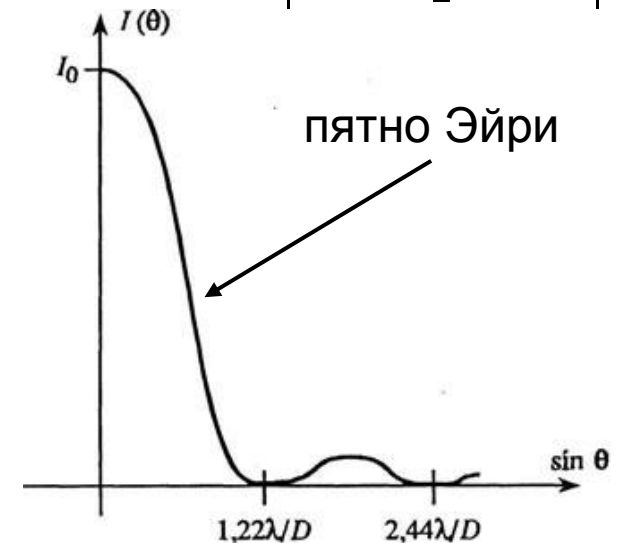
Размер пятна в фокальной плоскости:

$$w \sim 1,22 \lambda F/D$$

но для этого нужно еще уметь создавать плоскую монохроматическую волну

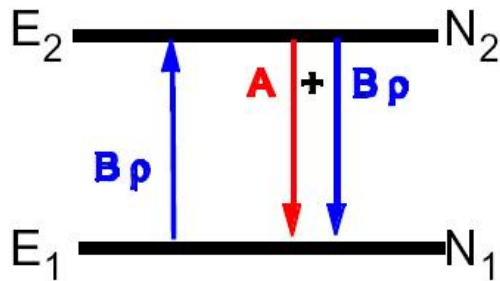
Распределение интенсивности при дифракции на круглом отверстии диаметром D

$$I(\theta) = I_0 \left[\frac{2J_1\left(\frac{kD \sin \theta}{2}\right)}{\frac{kD \sin \theta}{2}} \right]^2$$



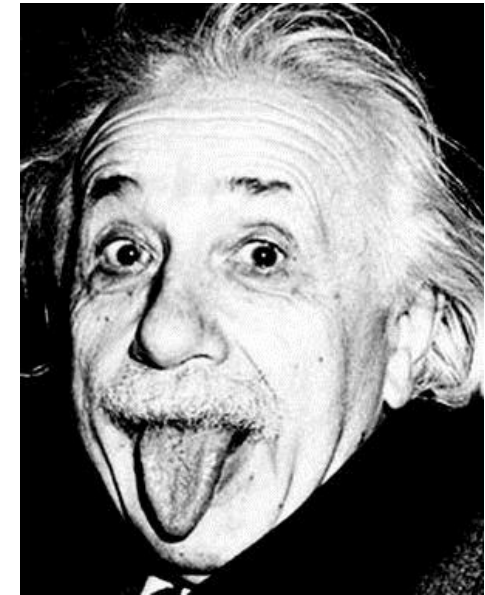
Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Чем может помочь лазер ?



1916 – Альберт Эйнштейн постулирует существование двух разных типов переходов в атоме: спонтанных и индуцированных

«Клонирование» фотонов открывает возможность создания лазеров – «фабрик» по производству идентичных квантов света



ЭЙНШТЕЙТ Альберт

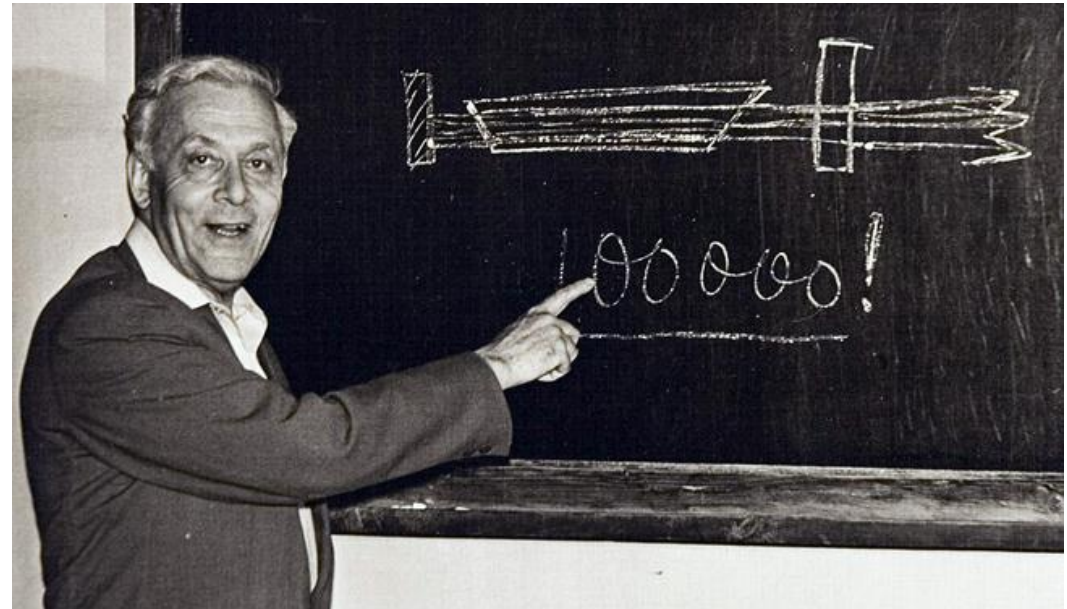
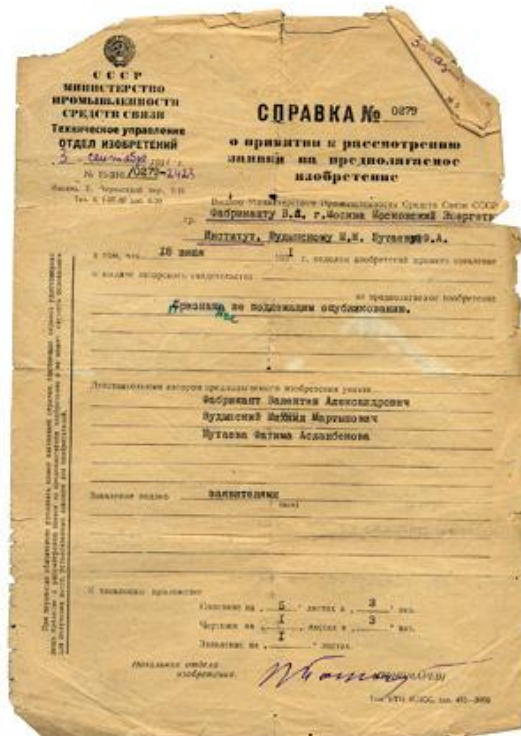


Клоны овечки Долли

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Лирическое отступление

1951 - В.А. Фабрикант,
Ф.А. Бутаева и М.М. Вудынский
регистрируют
изобретение – новый способ
оптического усиления



ФАБРИКАНТ Валентин Александрович

объясняет заявленный в качестве
изобретения новый способ усиления
электромагнитного излучения

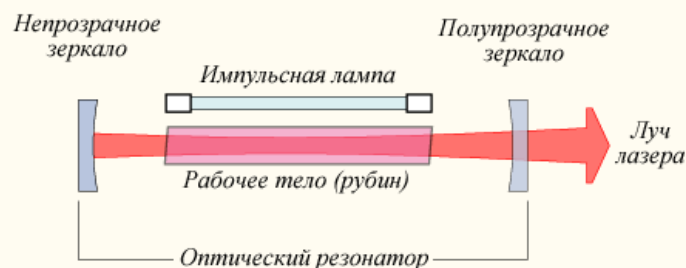
Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Чем может помочь лазер ?



МЭЙМАН Теодор

16 мая 1960 г. - Т. Мейман
запускает первый
твердотельный лазер на
рубине



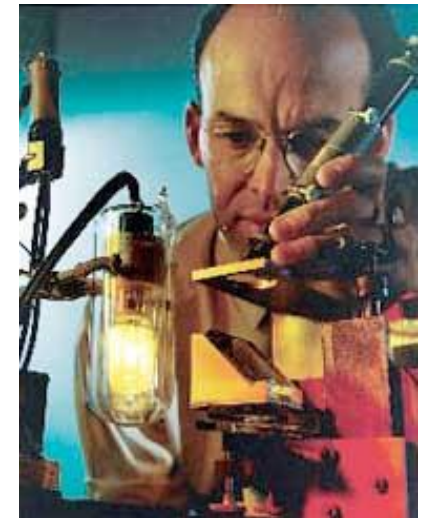
*Декабрь 1960 – ДЖАВАН Али запускает
первый газовый (He-Ne) лазер*

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

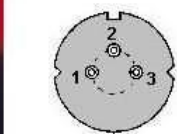
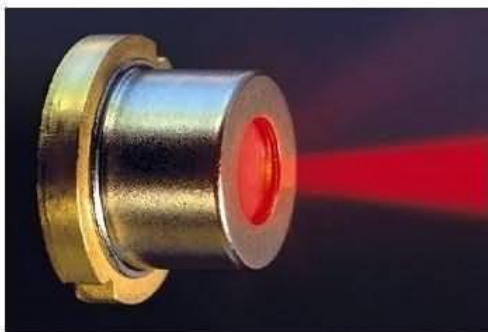
Чем может помочь лазер ?

1962 - группы из GE, IBM и MIT Lincoln Laboratory разрабатывают лазер на GaAs с накачкой за счет инжекции носителей

При прямом смещении дырки из p-области и электроны из n-области инжектируются в p-n переход. В процессе их рекомбинации выделяется энергия - фотон определённой длины волны (закон сохранения энергии). Процесс может протекать спонтанно (светодиод) либо вынужденно (под действием фотона той же частоты, лазерный диод)



ХОЛЛ Роберт



- 1: ЛД-лазерный диод
- 2: Общ.
- 3: ФД-фотодиод

В последнем случае направление распространения, вектор поляризации и фаза второго фотона будут в точности совпадать с теми же характеристиками первого

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

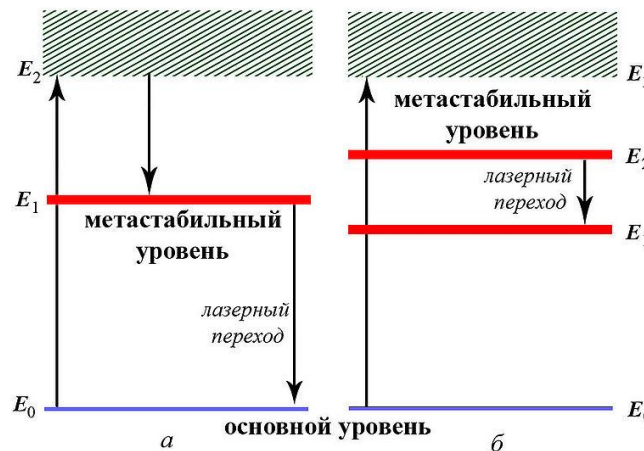
Лирическое отступление

1964 - Н.Г. Басову, А.М. Прохорову вместе с Ч. Таунсом присуждается Нобелевская премия по физике за фундаментальные исследования в области квантовой электроники, приведшие к созданию мазеров и лазеров



БАСОВ Николай Геннадьевич

ТАУНС Чарлз



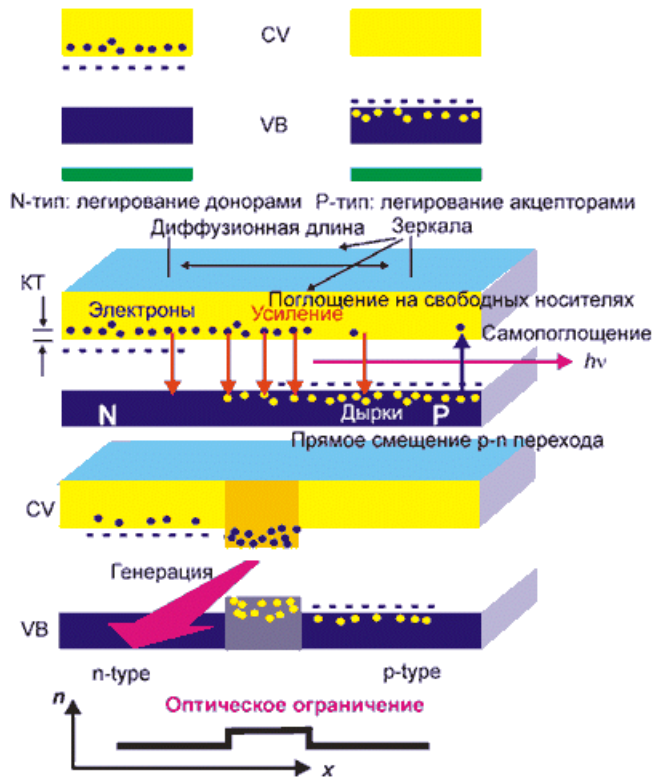
ПРОХОРОВ Александр Михайлович



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Чем может помочь лазер ?

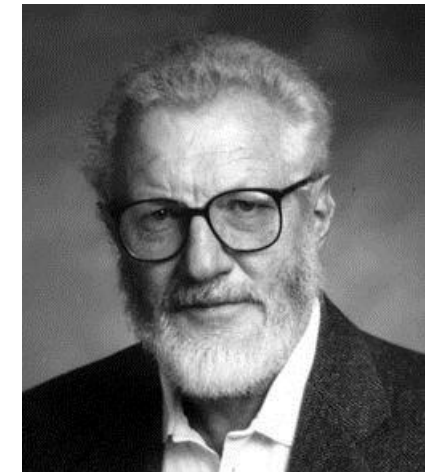
2000 - Ж.И. Алферову и Герберту Крэмеру присуждается Нобелевская премия по физике за развитие полупроводниковых гетероструктур для высокоскоростной оптоэлектроники



АЛФЕРОВ Жорес Иванович



КРЭМЕР Герберт

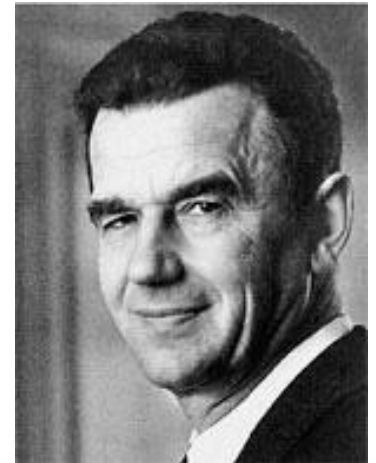
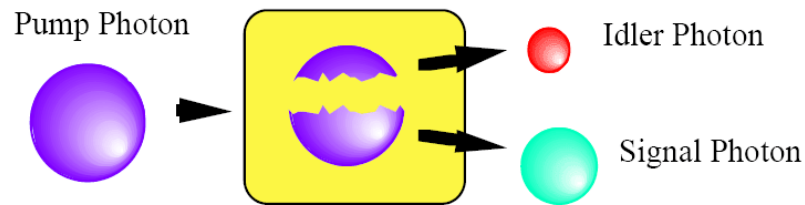


Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Лирическое отступление

$$P = \chi^{(1)}E + \chi^{(2)}EE + \chi^{(3)}EEE + \dots$$

➔ 3-волновые взаимодействия



ХОХЛОВ Рем Викторович

Кафедра общей физики и волновых
процессов
Международный учебно-научный
лазерный центр МГУ



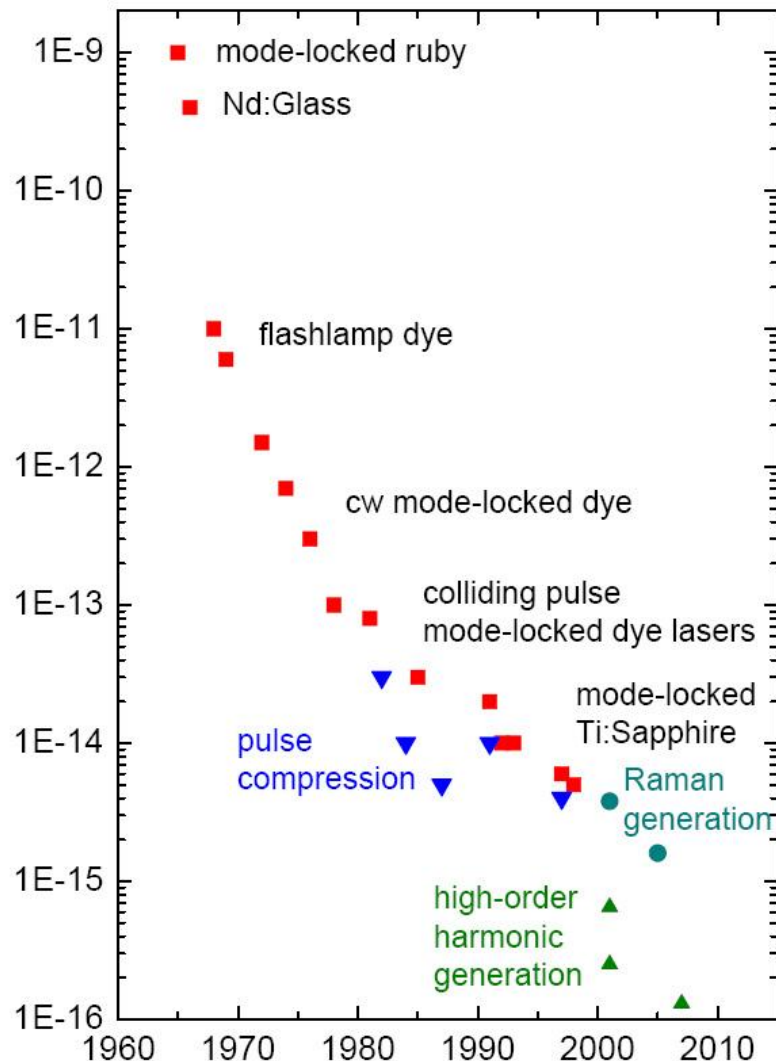
АХМАНОВ Сергей Александрович



С.А. Ахманов, Р.В. Хохлов, *Проблемы нелинейной оптики*, М.: 1964

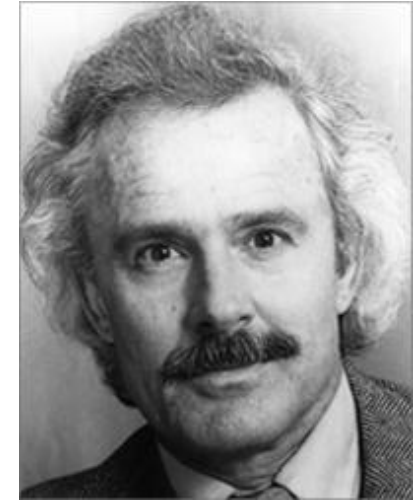
Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Чем может помочь лазер ?



1963 – Режим генерации «гигантских» импульсов - модуляция добротности

ХЕЛВАРС Роберт



1965 - Генерация коротких импульсов - синхронизация продольных мод

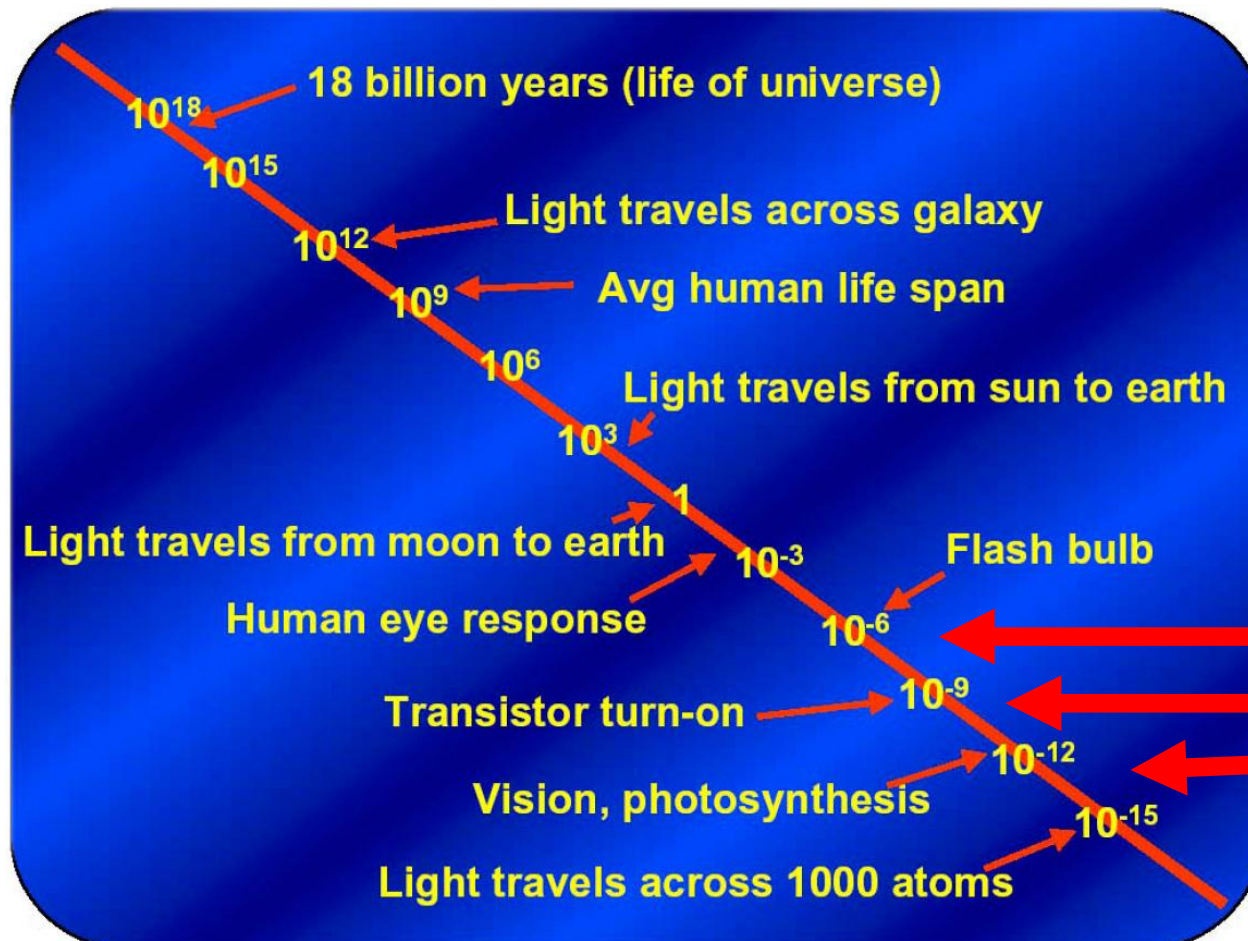
ДеМАРИЯ Энтони



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Чем может помочь лазер ?

Шкала временных интервалов



Свойства излучения:

Монохроматичность (!),
направленность (!),
когерентность (!),
генерация коротких
импульсов (!)

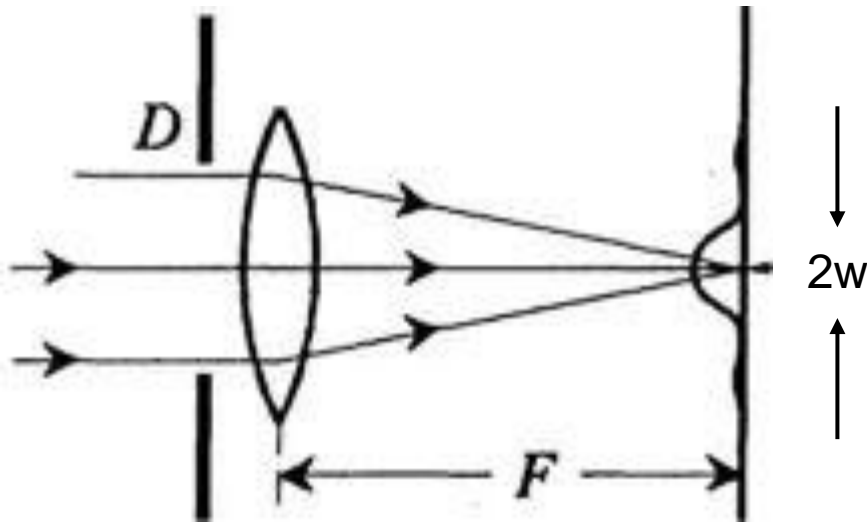
Импульсные режимы:

Свободная генерация
Модуляция добротности
Синхронизация мод

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Чем может помочь лазер ?

Предельная фокусировка



Размер пятна в фокальной плоскости:

$$w \sim 1,22 \lambda F/D$$

и теперь мы умеем создавать плоскую монохроматическую волну

Важнейшую роль играют всего два параметра:

λ - длина волны используемого излучения

D/F - относительное отверстие (светосила) объектива

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Запись и считывание информации на магнитных носителях



1967 г. - IBM – прототип дискеты с защитным кожухом и тканевой прокладкой

1971 г. - IBM - первая дискета, диаметр 8" (200 мм) с дисководом

1976 г. - Shugart Associates - дисковод для гибких дисков диаметром 5¼", интерфейс SCSI

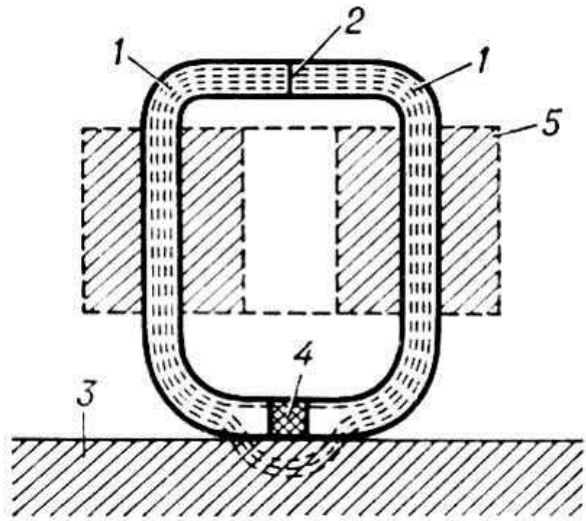
1981 г. - Sony - дискета диаметром 3½" (90 мм), объем 720 кбайт (9 секторов)

Версия (HD) имеет объём 1,44 Мбайт (18 секторов)

1987 г. - Toshiba - дисководы Extra High Density (ED) с носителем емкостью 2,88 Мбайт (36 секторов)

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Магнитная запись информации



1 – сердечник из жесткого ферромагнетика

2, 4 – зазоры

3 – магнитная лента из мягкого ферромагнетика

5 – обмотка (катушка)

Магнитная головка - кольцевой магнитный сердечник с обмоткой на одной стороне и зазором на другой. Основная проблема до перехода к тонкопленочным головкам (конец 80-х годов) – большая ширина зазора

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Магнитооптика

Магнитооптический диск - носитель информации, сочетающий в себе свойства оптических и магнитных накопителей.

Первые магнитооптические диски появились в начале 80-х годов.

Основная идея:

локализовать область записи информации (бита) 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.

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

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

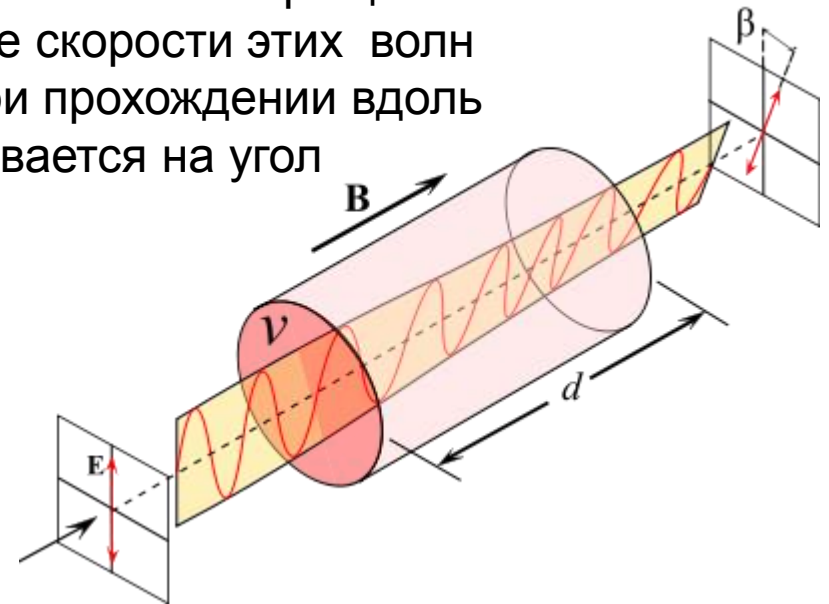
Магнитооптика

Эффект Фарадея обнаружен М. Фарадеем в 1845 г.

Линейно поляризованное излучение - суперпозиция двух циркулярно поляризованных волн с противоположным направлением вращения вектора поляризации. В магнитном поле фазовые скорости этих волн становятся разными, причем их разность $\sim H$. При прохождении вдоль силовых линий плоскость поляризации поворачивается на угол

$$\Theta = \nu H l$$

Здесь ν - постоянная Верде и зависит от вещества, длины волны λ и температуры)

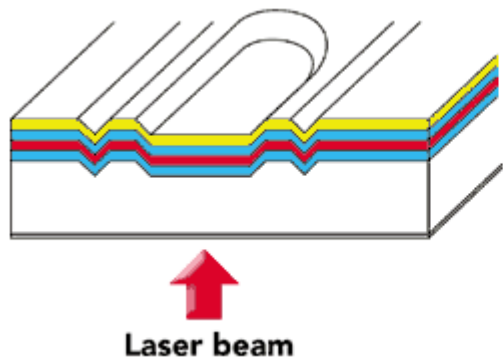
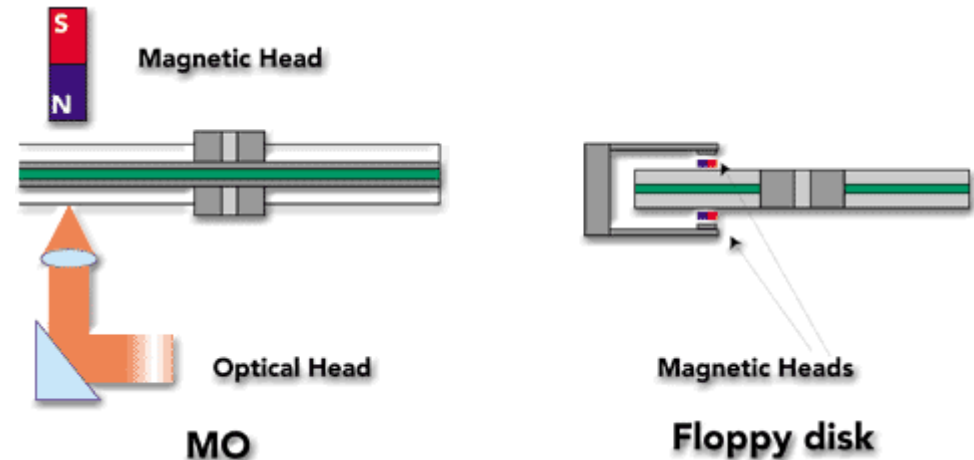


Эффект Фарадея позволяет определить направление силовых линий магнитного поля, которое и используется для записи информации

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Магнитооптика

Схемы магнитооптической записи информации (слева) и магнитной записи на гибкий диск (справа)



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

Слоистая структура МО диска:

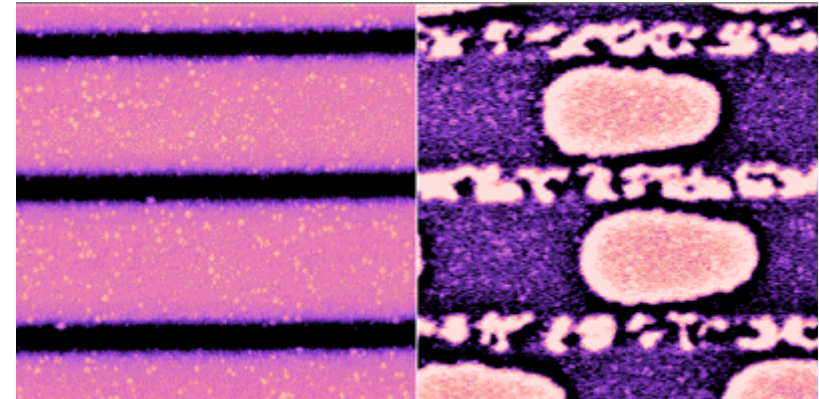
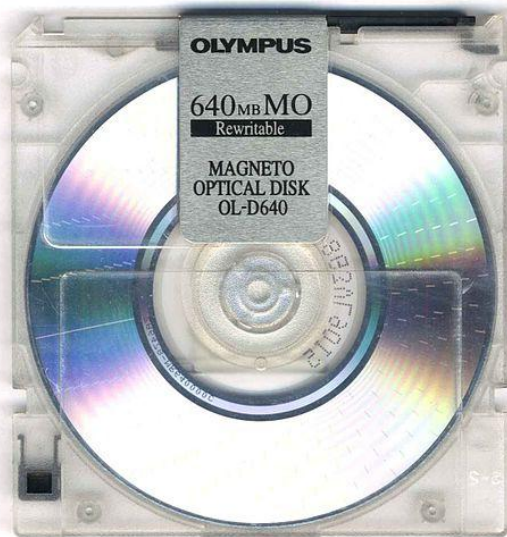
- желтый - отражающий слой
- голубой - диэлектрический слой I
- красный - записывающий слой
- голубой - диэлектрический слой II
- белый - поликарбонат

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Магнитооптика

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)



Профиль (слева) и магнитное изображение (справа) участка поверхности MO диска

Основные недостатки:

Надо стирать содержимое диска перед записью
Сравнительно высокое энергопотребление
Высокая цена как дисков, так и накопителей
Не распространены, отсутствует единый стандарт

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Запись аналоговой информации: Граммофон



Фонограф Томаса Эдиссона

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

Является развитием фонографа (1877 г., Шарль Кро и Томас Эдиссон): вместо цилиндров - валиков для записи и воспроизведения звуков используются диски



Граммофонная пластинка



Граммофон

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

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



Плеер Magnavox

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

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

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

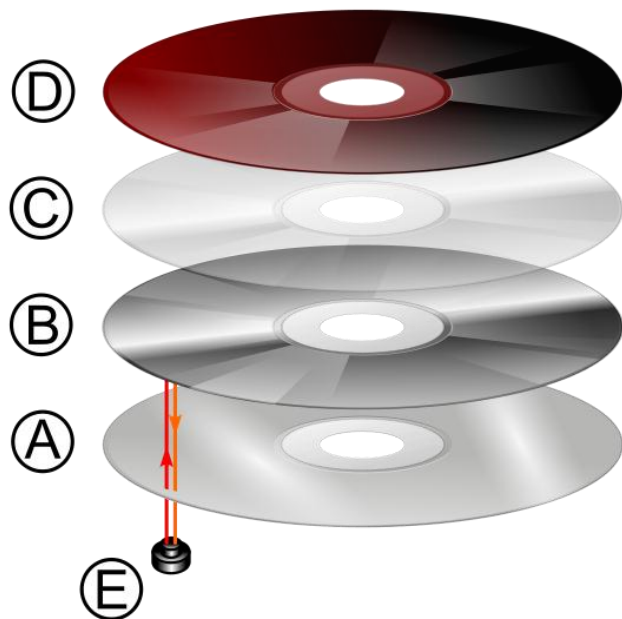


CD диск

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Запись цифровой информации: CD

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»



- A. Слои поликарбоната с отштампованными данными
- B. Зеркальный слой отражающий излучение
- C. Лаковый слой, защищающий зеркальный слой
- D. Иллюстративный материал на поверхности диска
- E. Пучок «читающего» излучения. Отраженный сигнал преобразуется детектором в электронные данные

Структура CD диска

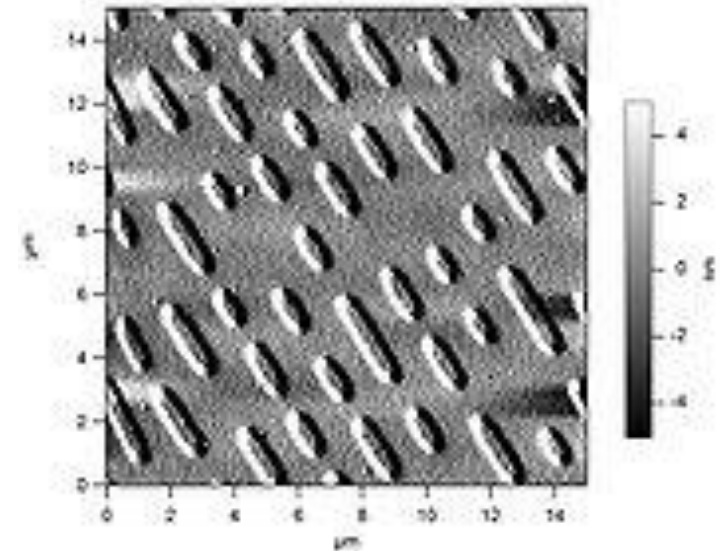
Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Физическое представление цифровой информации в оптических дисках

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

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Запись цифровой информации: CD-R

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

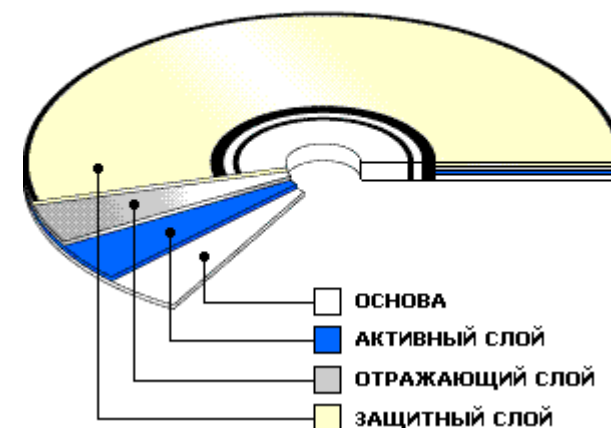
Типы записывающего слоя:

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 салатový или золотистый рабочий слой.
Менее чувствительны к солнечному свету и УФ излучению, информация может храниться сотни лет

Строение CD-R диска



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Запись цифровой информации: CD-R

При нагревании красителя выше определённой температуры он разрушается и темнеет, меняя отражательную способность «прожженной» зоны. Управляя мощностью излучения лазера во времени, на записывающем слое получают чередование темных и светлых пятен, которые при чтении (меньшая мощность излучения лазера) интерпретируются как биты

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



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Запись цифровой информации: CD-RW

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 проходит 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

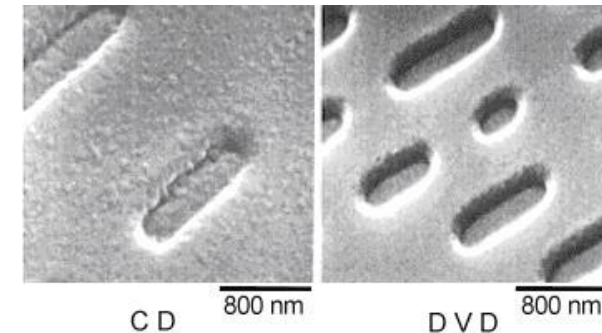
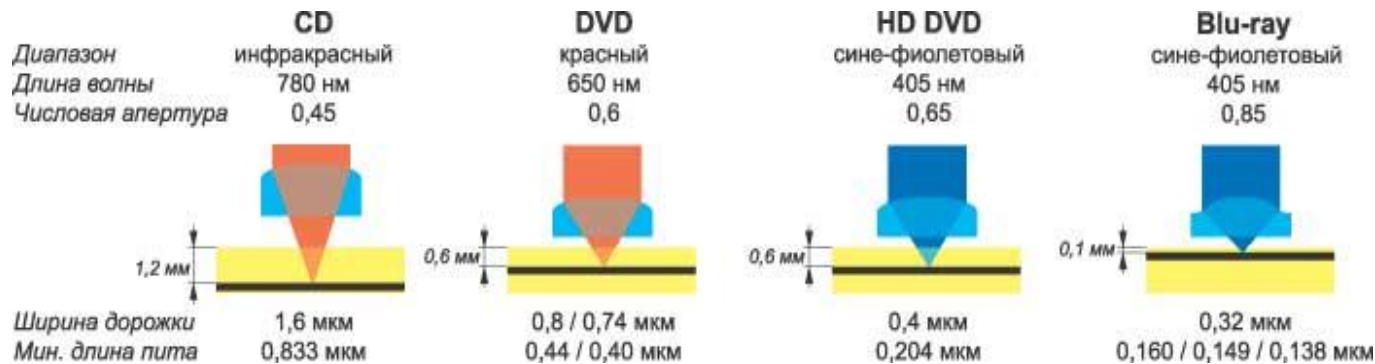
Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Запись цифровой информации: DVD, HD-DVD и Blu-ray

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

1. уменьшения длины волны используемого для записи/чтения излучения λ (780 – 605 – 405 нм)
2. 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



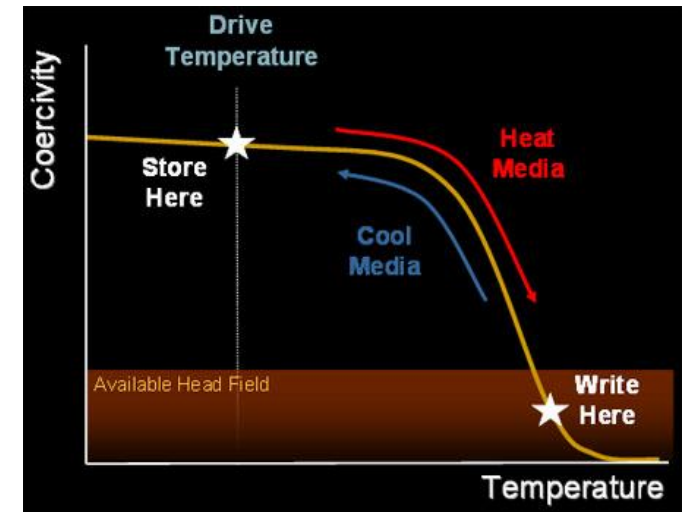
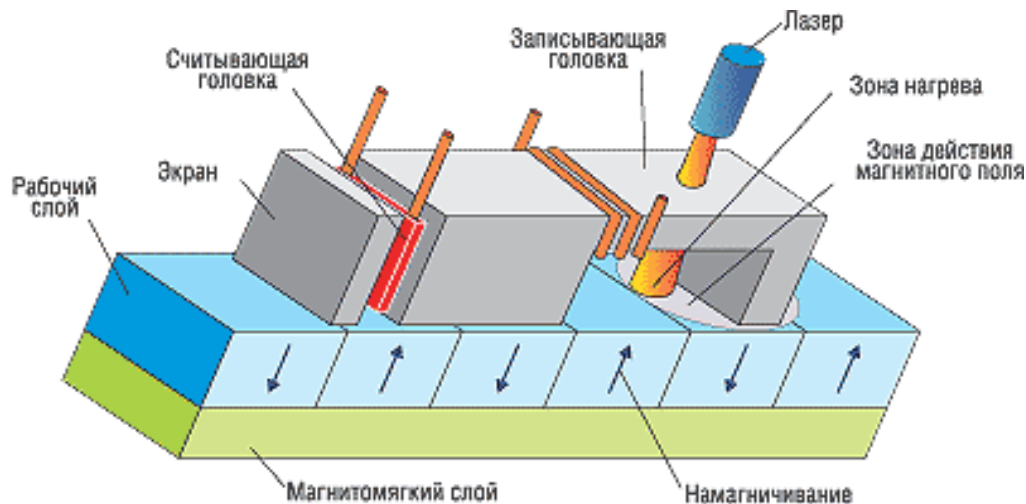
Сравнение параметров CD, DVD, HD DVD и Blu-ray

Питы на CD и DVD

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Будущее и перспективы магнитной записи

Технологии записи на магнитный диск



Термомагнитная запись (HAMR):
размер бита определяется областью локализации магнитного поля

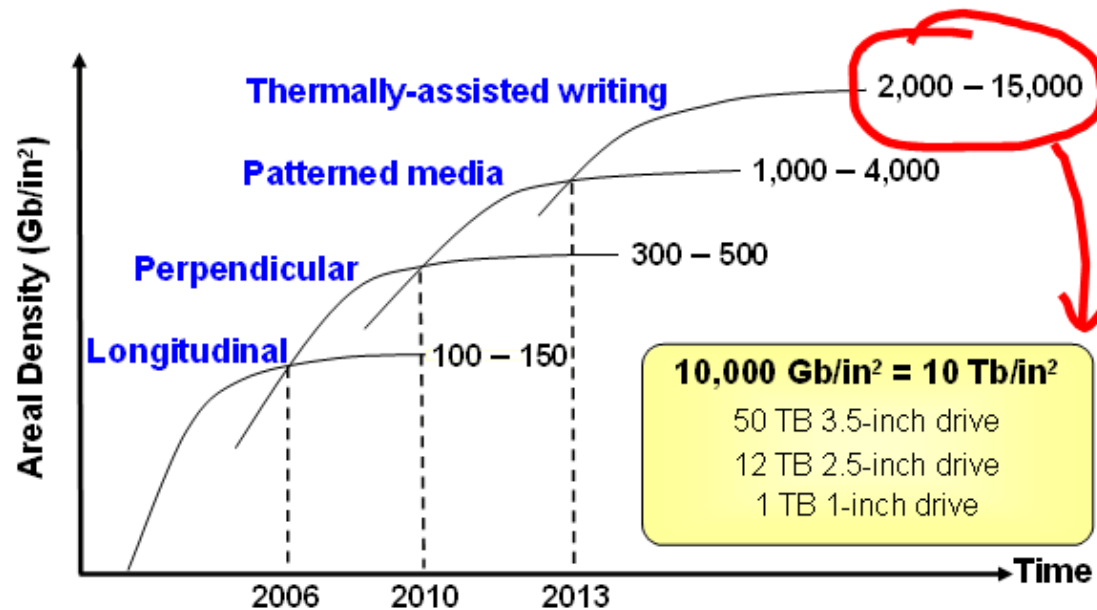
Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Будущее и перспективы 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.

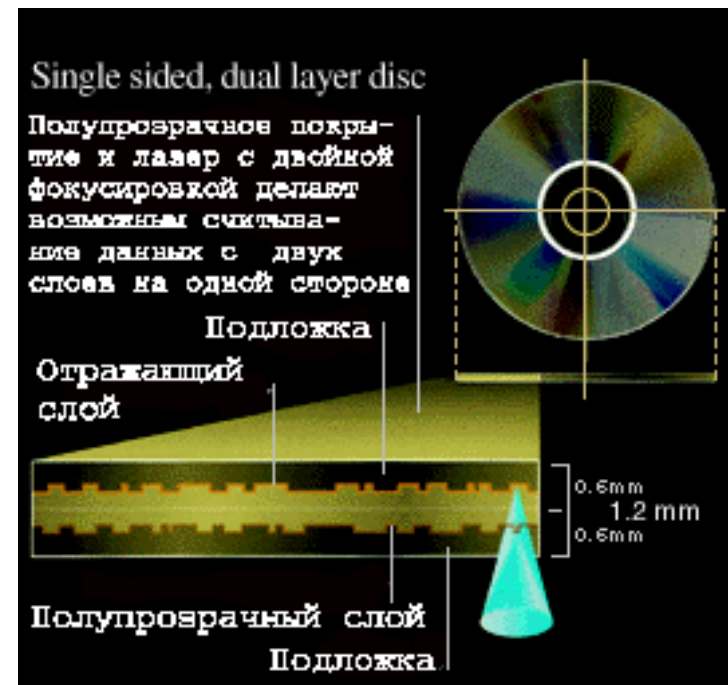
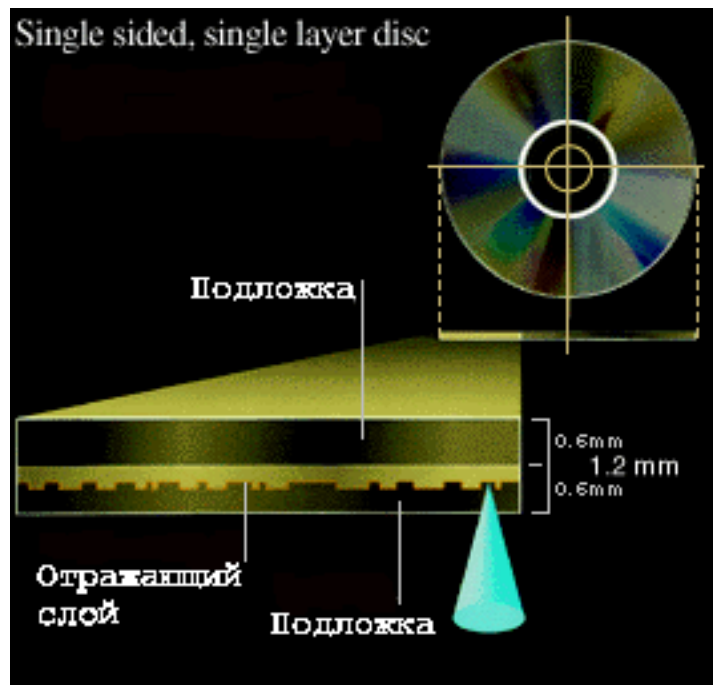


Сочетание технологий SOMA и HAMR
позволит достичь плотности 2D магнитной записи ~ 10-15 Тбит/кв.дюйм,
недостижимой для 2D оптической записи

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

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



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

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Многослойные диски и 2.5D технологии

2002 - Constellation 3D, Fluorescent Multilayer Disc (FMD
флуоресцентный многослойный диск).

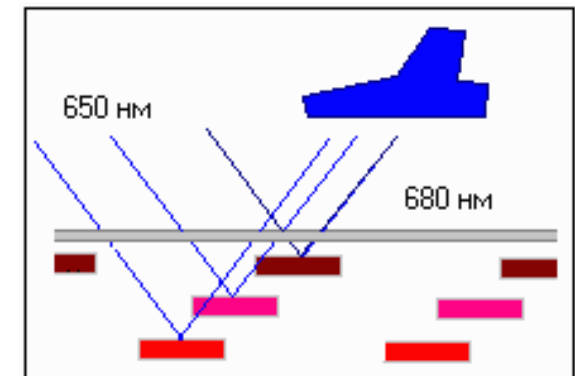
Используется материал, при записи приобретающий флуоресцентные свойства. Активированные «питы» слоев (до 100 (!) при чтении излучают свет, смещенный по длине волны относительно читающего излучения. Смещение – разное для разных слоев, что дает возможность разделить информацию, полученную от каждого слоя.



FMD

Согласно спецификации:

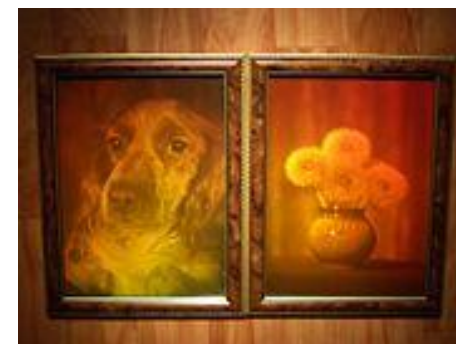
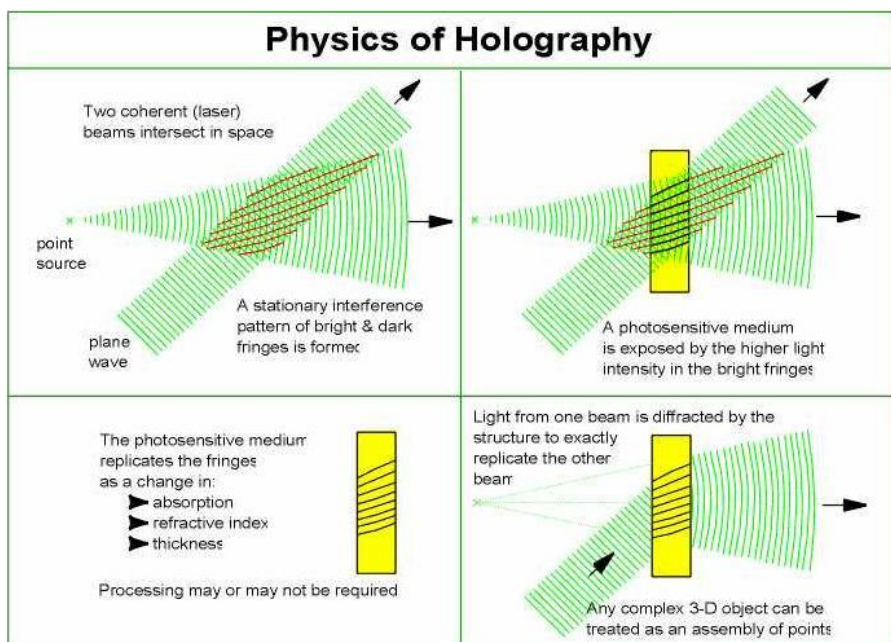
емкость слоя	4,7 Гбайта (DVD)
число слоев первых дисков	12 – 30
общая емкость	20 - 140 Гбайт
Использование синего лазера	емкость > 1 ТБ
Параллельное чтение данных	передача > 1 Гбит/с



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

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

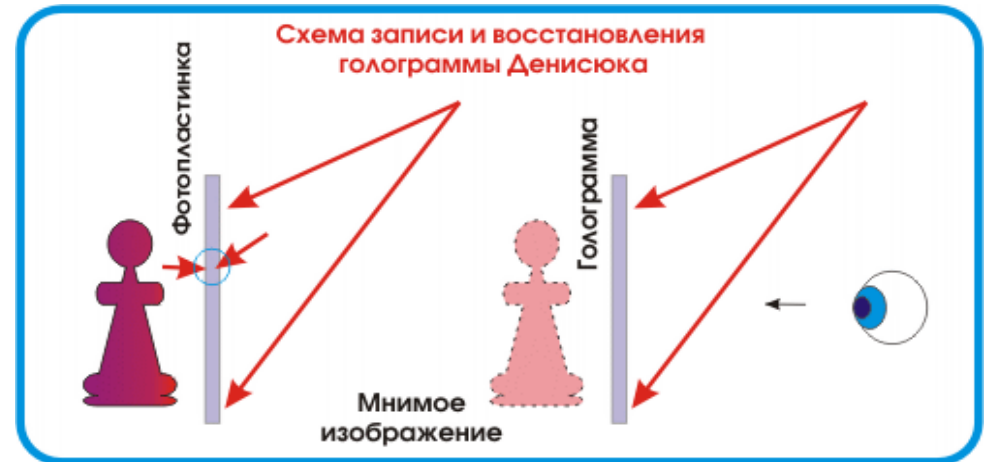
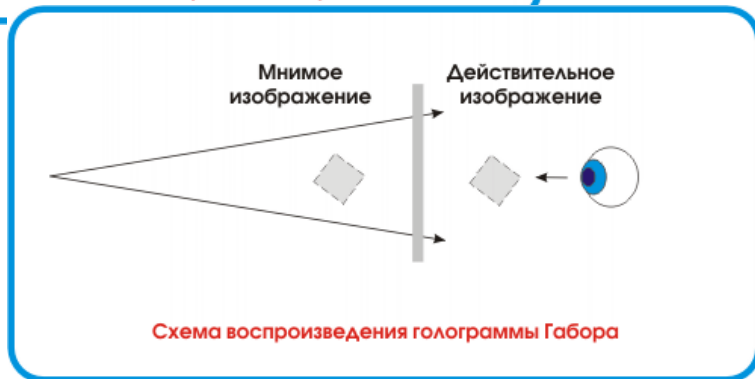
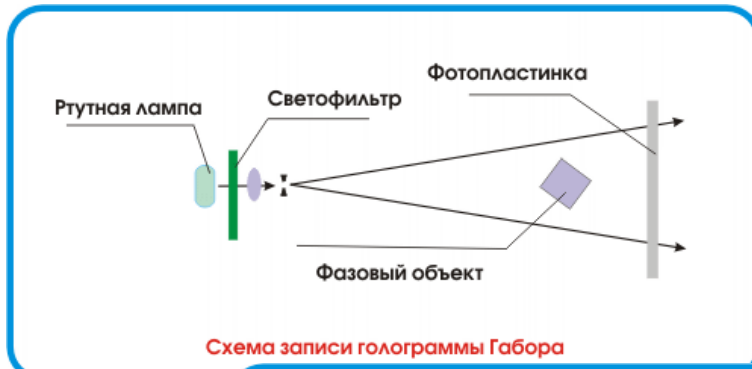


Первая голограмма - 1947, Деннис Габор, эксперименты по повышению разрешающей способности электронного микроскопа. Он же ввел термин «голография», подчеркивающий полную запись оптических свойств объекта

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

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 λ , на которой проводилась запись



В схема 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

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Фотохромные материалы



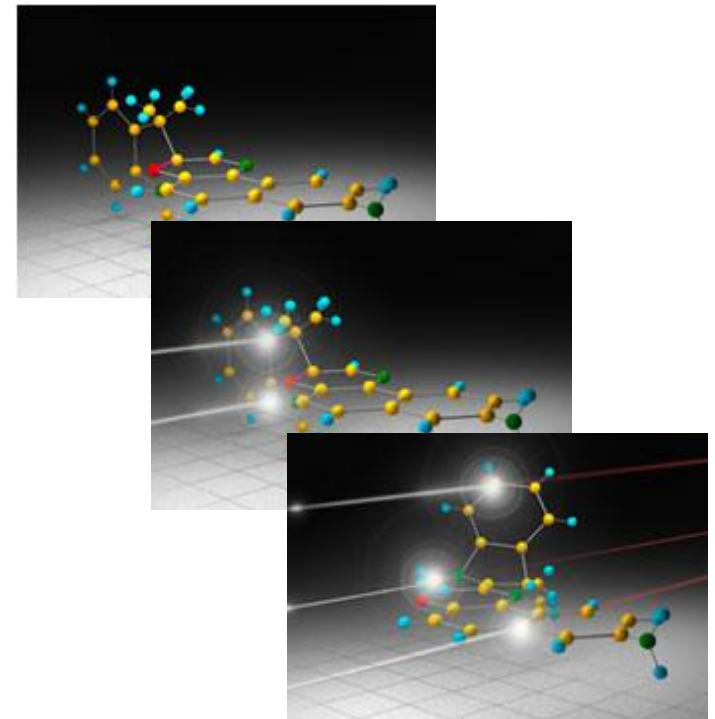
Очки со стеклами «хамелеон»

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

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



Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Фоторефрактивные материалы

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

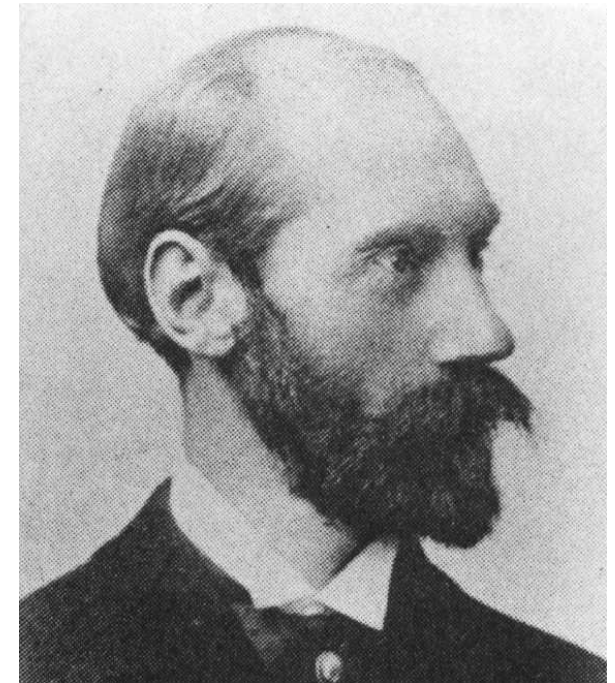
Фоторефрактивный эффект в дефектных сегнетоэлектриках (ниобаты лития и калия, титанат стронция, SBN и др.) широко используется в динамической голографии

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 Покельса



ПОККЕЛЬС Фридрих Карл

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

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



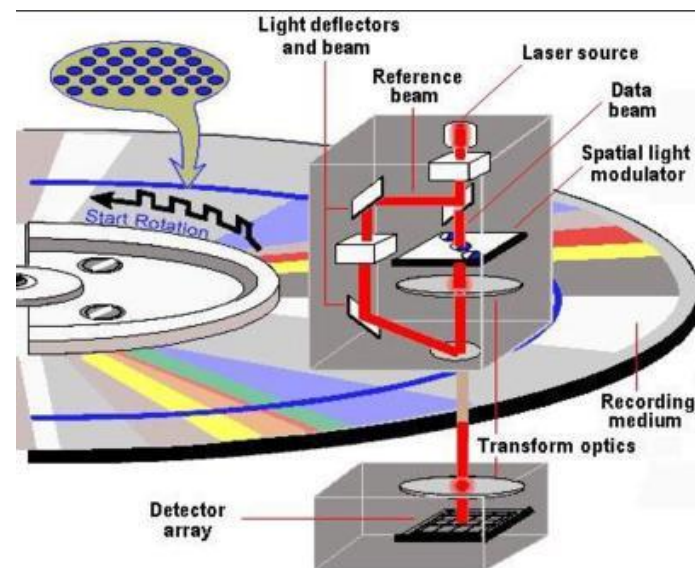
*Голографическая память
InPhase technologies*

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Голографический диск (HVD)

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.

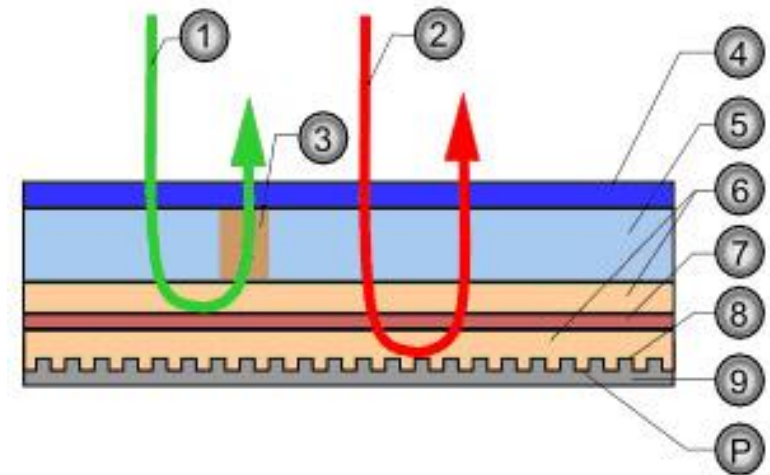


Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Голографический диск (HVD)

Структура голографического диска (HVD)

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)

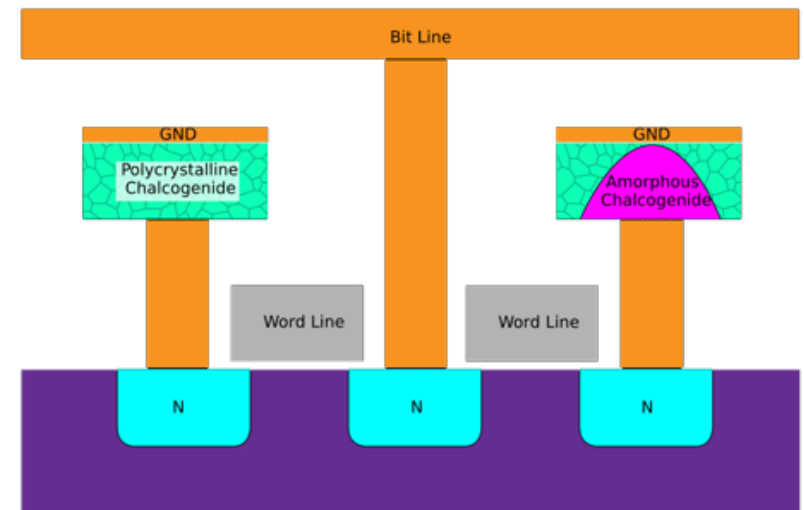


HVD и его структура

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Phase-change memory

Память на фазовых переходах (Phase-change memory, PCM) для хранения данных использует частицы металлического сплава халькогенида (chalcogenide). Используя высокую температуру, получаемую при пропускании электрического тока, частицы сплава переводятся то в кристаллическое, то в аморфное состояние. Для чтения записанной информации используют меньший ток, значение которого сообщает в каком из состояний находится кристалл сплава



Phase-change memory

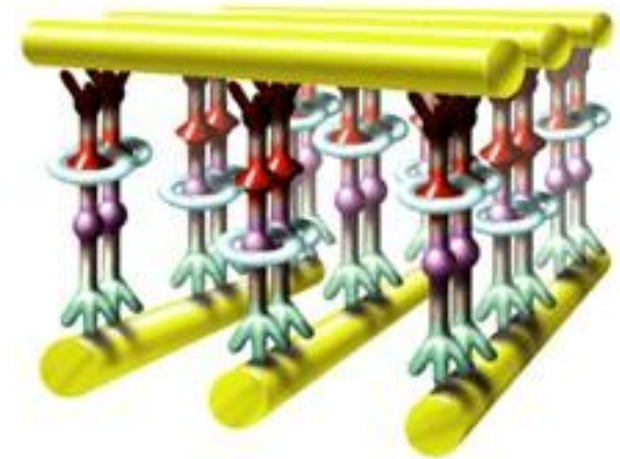
Устройство Moneta, изготовленное на базе чипов PCM первого поколения Micron Technology, обеспечивает скорость чтения 1.1 ГБ/сек. Запись осуществляется со скоростью 371 МБ/сек (в 2-7 раз быстрее, чем в SSD)

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Молекулярная память

Чтобы записать или прочитать бит, массивы молекул выстраивают вокруг нанотрубок, способных переносить электрический заряд.

Манипулировать битами можно и при помощи радиоимпульсов. При этом импульс одной частоты меняет состояние молекулы. Чтобы прочитать бит, используется импульс на другой частоте. Второй импульс считывает информацию о том, что сделал с молекулой первый импульс



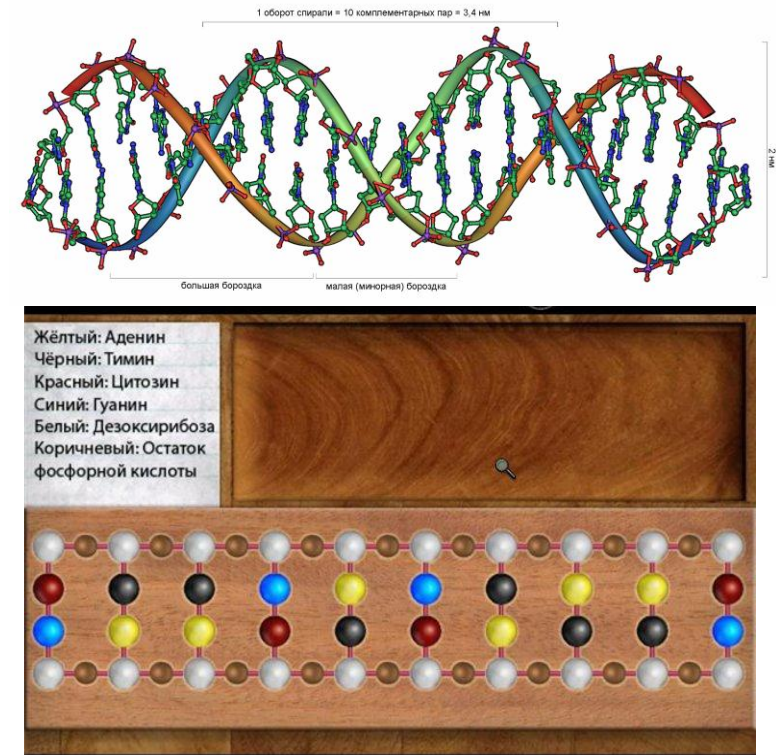
Блок молекулярной памяти

Главная проблема молекулярной памяти – решение задачи обращения к нужному биту

Лекция 10. Внешняя память в ЭВМ

Молекулярная память

Принцип компьютерной ДНК-памяти основан на последовательном соединении четырех нуклеотидов: аденин, тимин, цитозин и гуанин - основные кирпичики в ДНК-цепи. Три нуклеотида, соединяясь в любой последовательности, образуют элементарную ячейку памяти - кодон, которые затем формируют цепь ДНК. Основная трудность в разработке ДНК-компьютеров связана с проведением избирательных однокодонных реакций (взаимодействий) внутри цепи ДНК



Структура участка ДНК

Главная проблема молекулярной памяти – решение задачи обращения к нужному биту - кодону

Лекция 11. Связь ЭВМ с внешней средой

Связь ЭВМ с внешней средой: ввод и вывод информации

Ввод и вывод цифровой и аналоговой информации:

Цифро-аналоговое преобразование (ЦАП). Погрешности ЦАП.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Погрешности АЦП.

Понятие о цифровом методе хранения и передачи аналоговой информации.

Ввод оптического изображения в ЭВМ, приборы с зарядовой связью (ПЗС). ПЗС-камера (CCD).

Принципы отображения информации на твердом носителе - принтеры и плоттеры:

Алфавитно-цифровые и графические принтеры.

Матричные, струйные, лазерные и светодиодные принтеры.

Цветная печать.