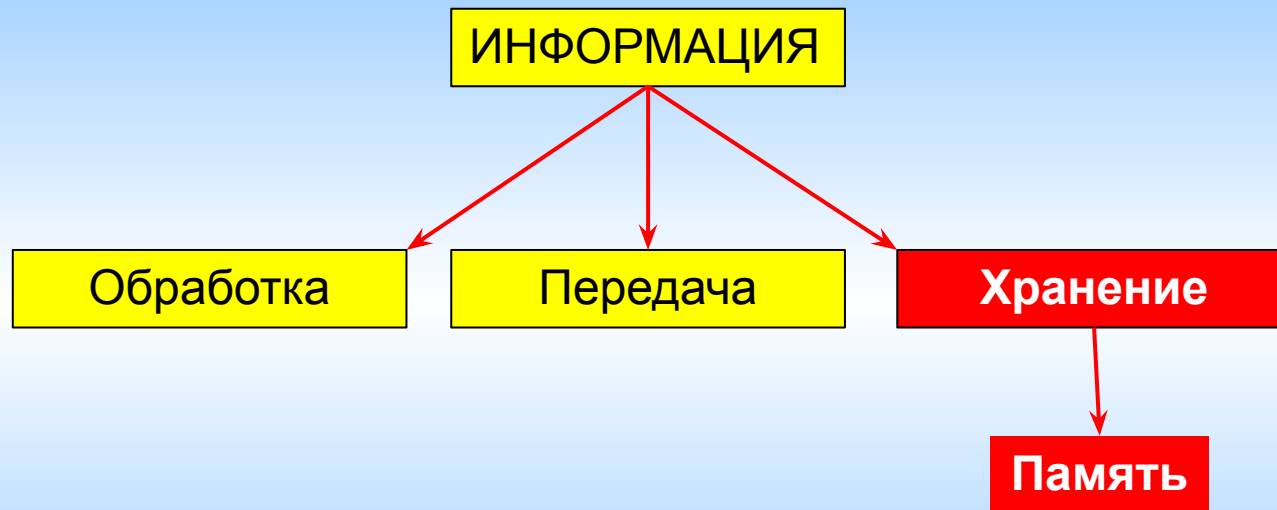


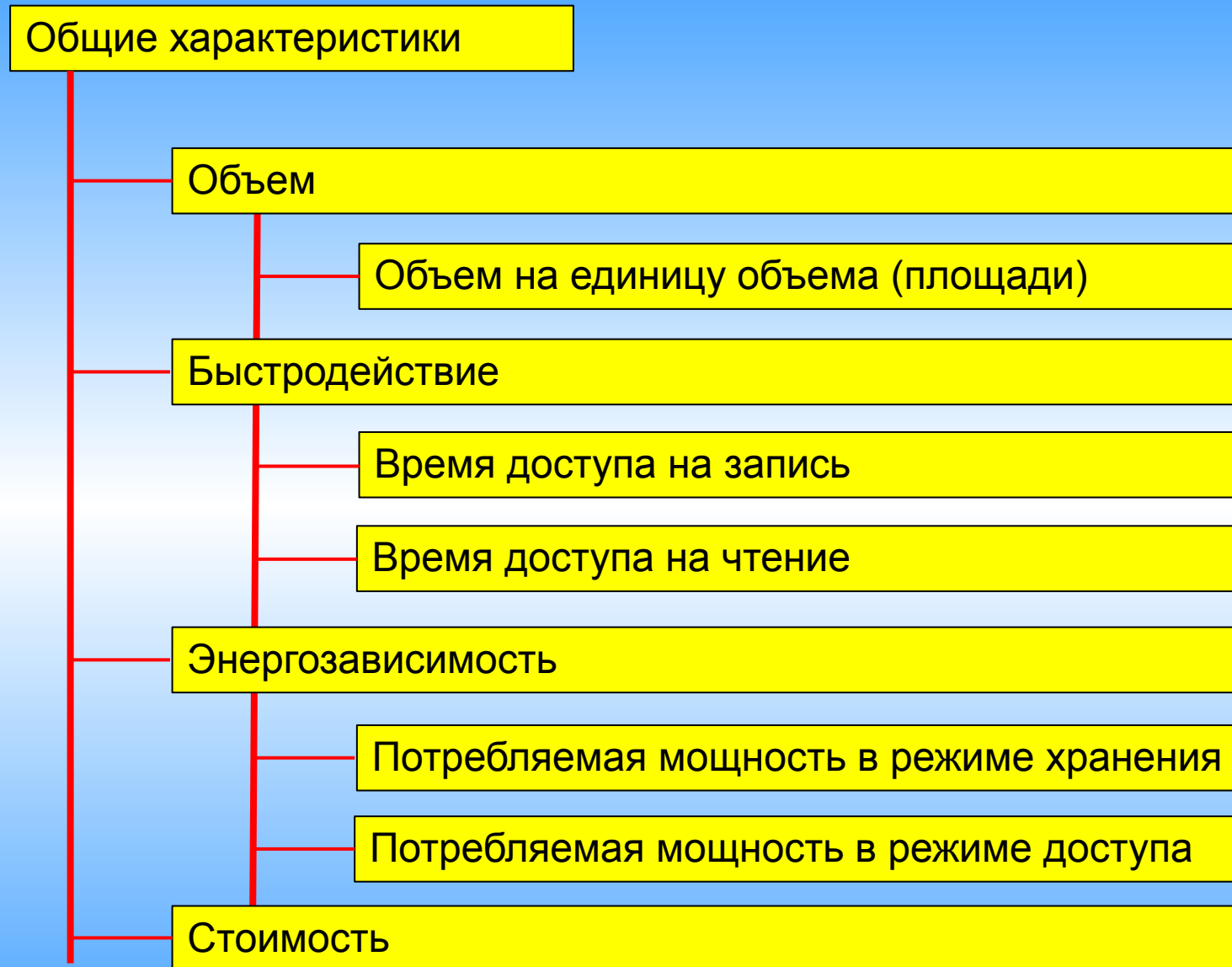


Память 1

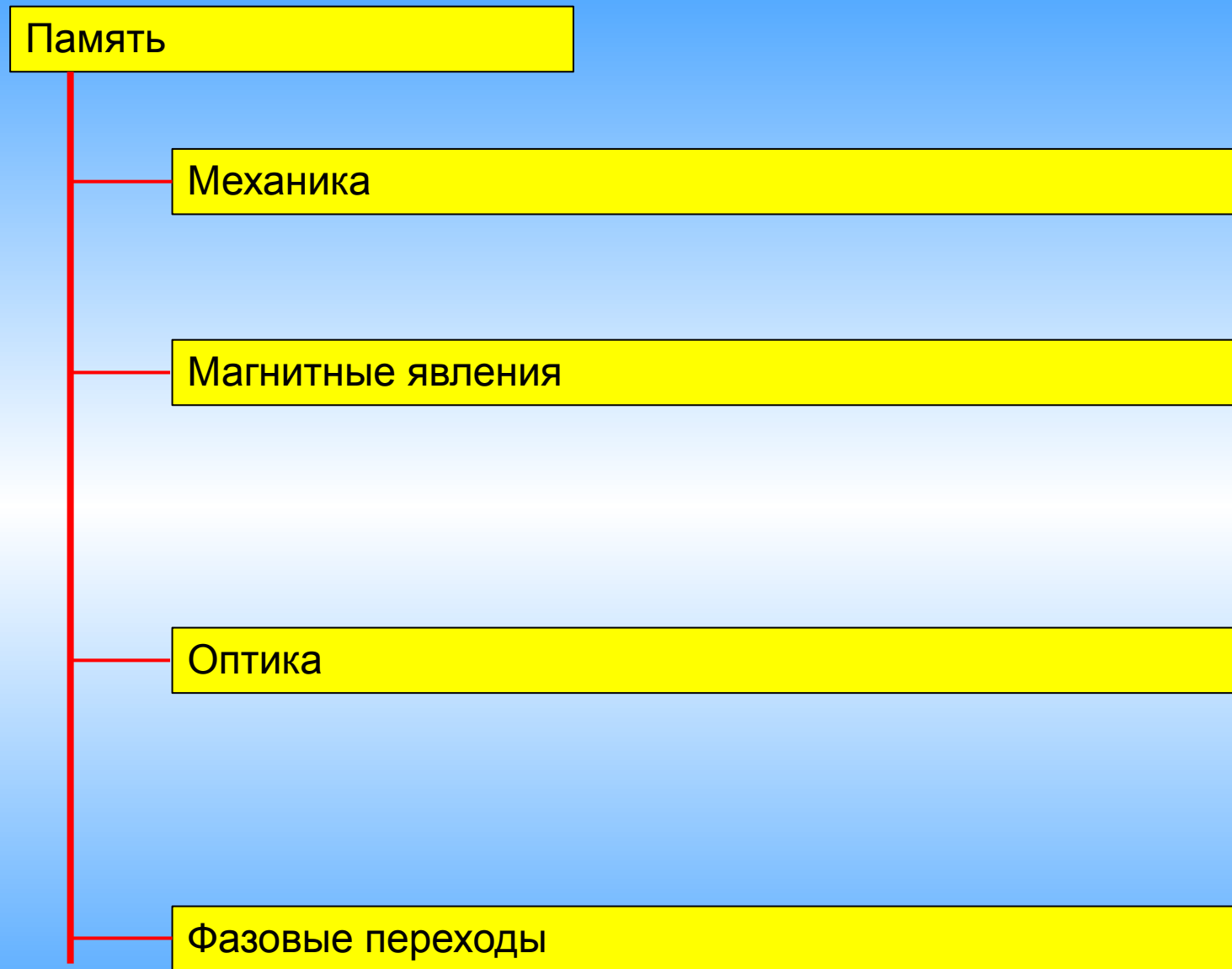
Memory 1



# Параметры



# Классификация. Физика.

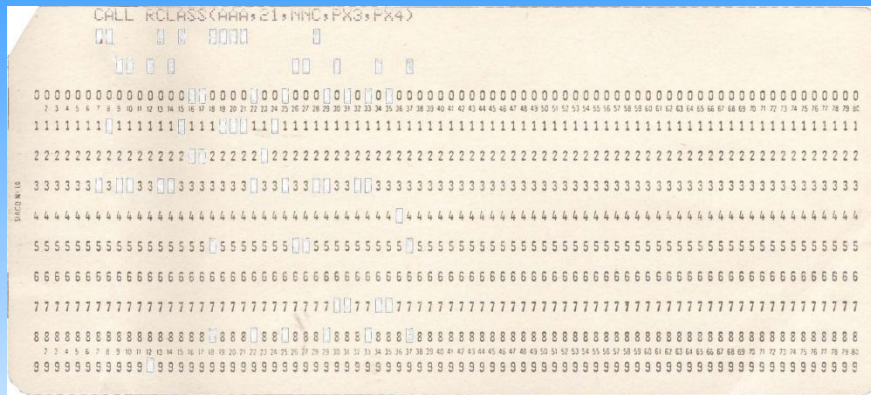




# Механика. Перфокарта.

## Punched Card

IBM punched card



Максимальная скорость записи — ввод с клавиатуры  
Максимальная скорость считывания — до 1000 карт в минуту

Способ записи — механический,  
Способ считывания — оптический.



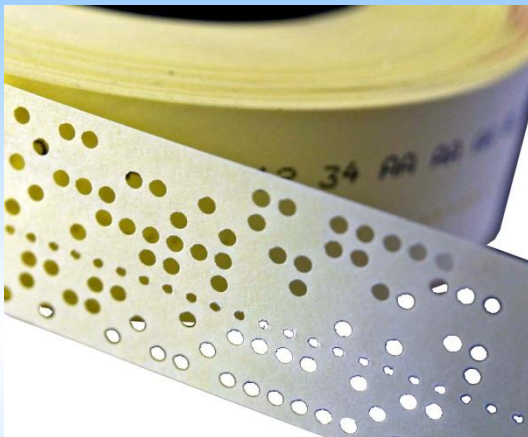


# Механика. Перфолента.

Punched

Tape

Последовательное считывание



Максимальная скорость записи — до 80 — 150 байт/с,  
Максимальная скорость считывания — до 1500 байт/с

Способ записи — механический,  
Способ считывания — оптический.

# Механика. Грампластинка.

Vinyl



Максимальная скорость записи — ROM,  
Максимальная скорость считывания — ? байт/с

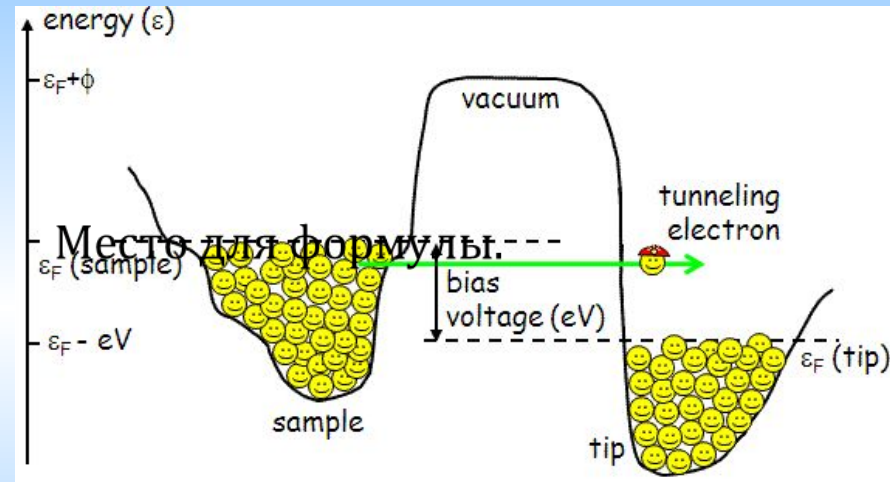
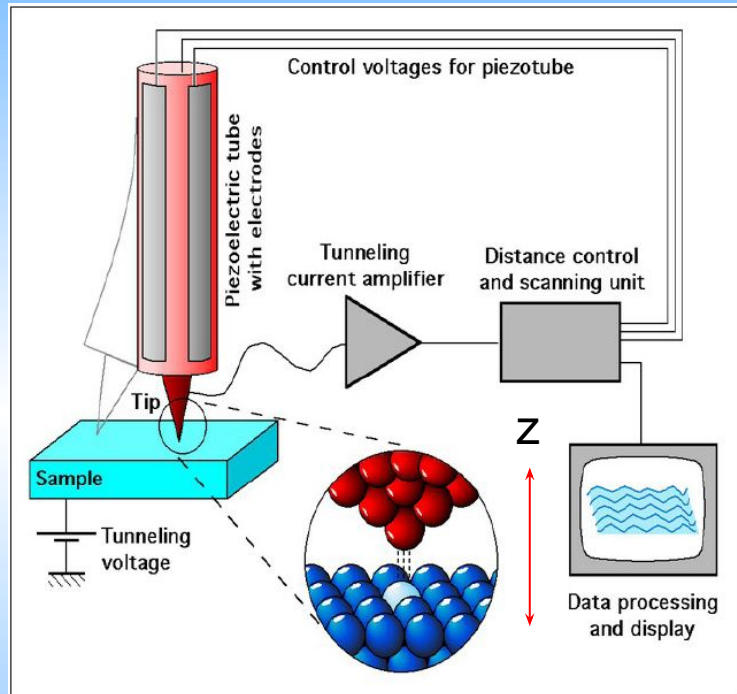
Способ записи — механический,  
Способ считывания — механический.





## Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). Scanning Tunneling Microscope (STM).

Изобретен Гердом Биннигом (Gerd Binnig) и Генрихом Рорером (Heinrich Rohrer) из лаборатории IBM в Цюрихе в 1981 году. Нобелевская премия по физике за 1986 год.

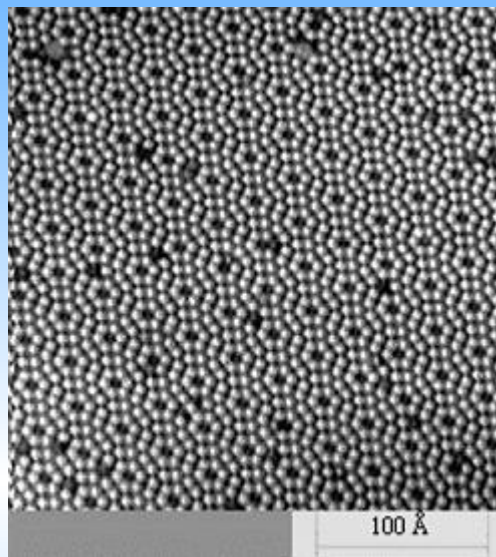
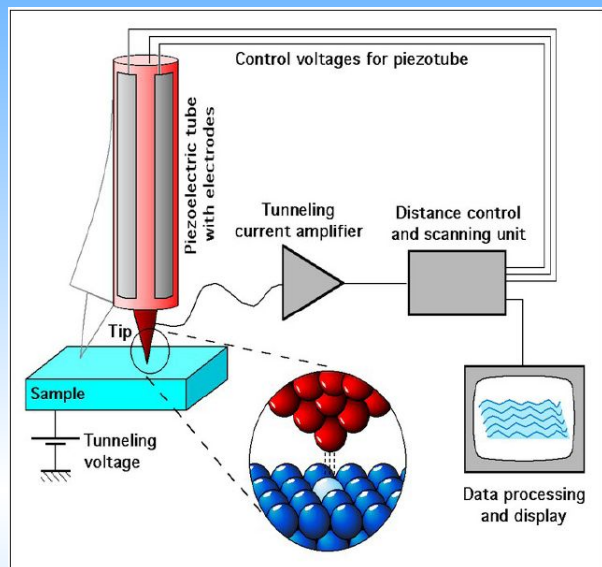


$$I = f(z)$$

Система автоматического регулирования поддерживает  $I = const$ .

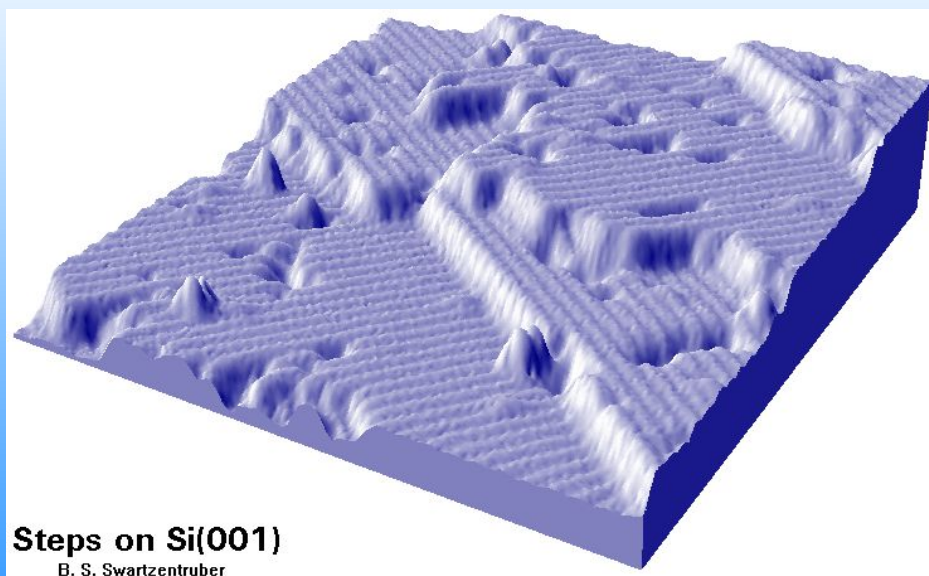
Образец должен обладать электрической проводимостью

## Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). Scanning Tunneling Microscope (STM).



2D STM изображение Si(111)

[http://www.nrel.gov/pv/measurements/scanning\\_tunneling.html](http://www.nrel.gov/pv/measurements/scanning_tunneling.html)



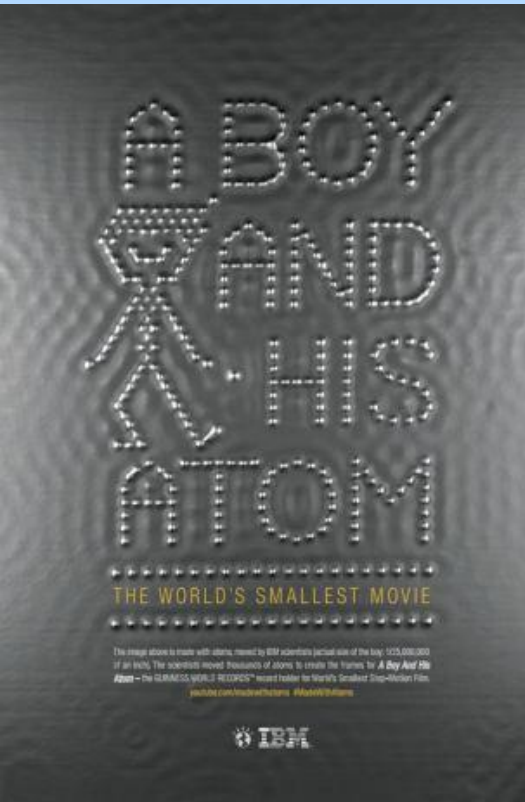
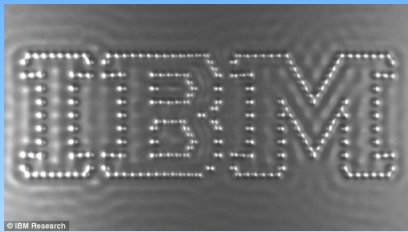
Steps on Si(001)  
B. S. Swartzentruber

3D STM изображение Si(001)

[http://www.sandia.gov/surface\\_science/stm](http://www.sandia.gov/surface_science/stm)

# Механика. Нанотехнологии.

## Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). Scanning Tunneling Microscope (STM).



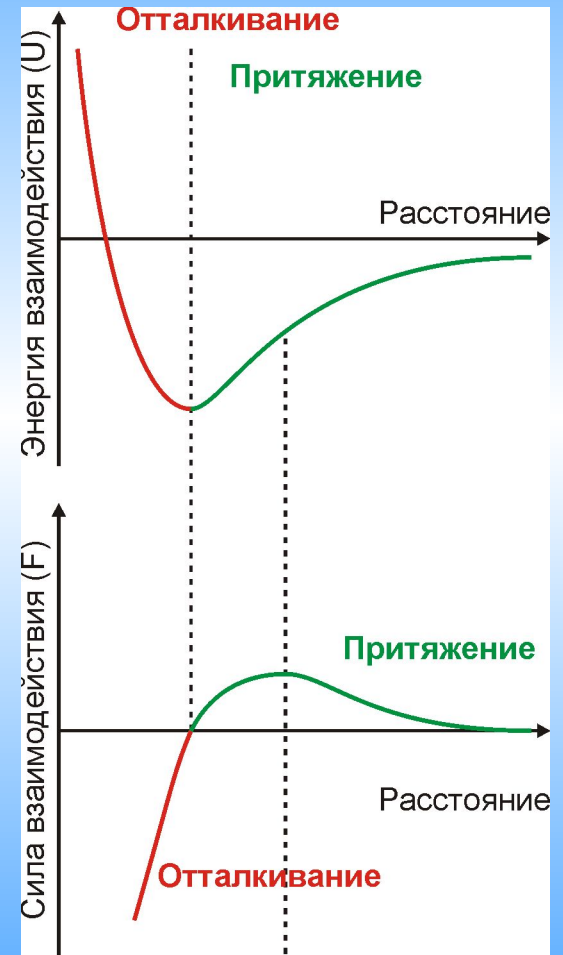
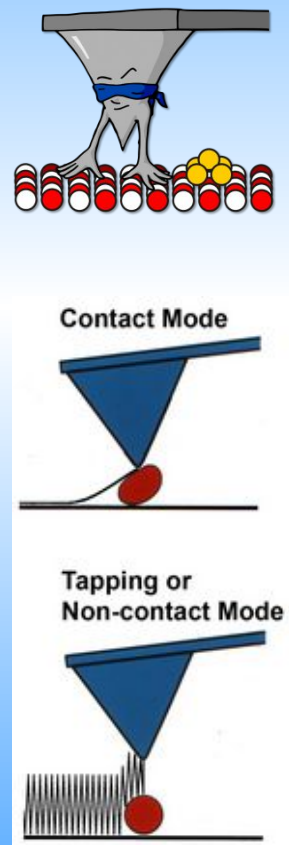
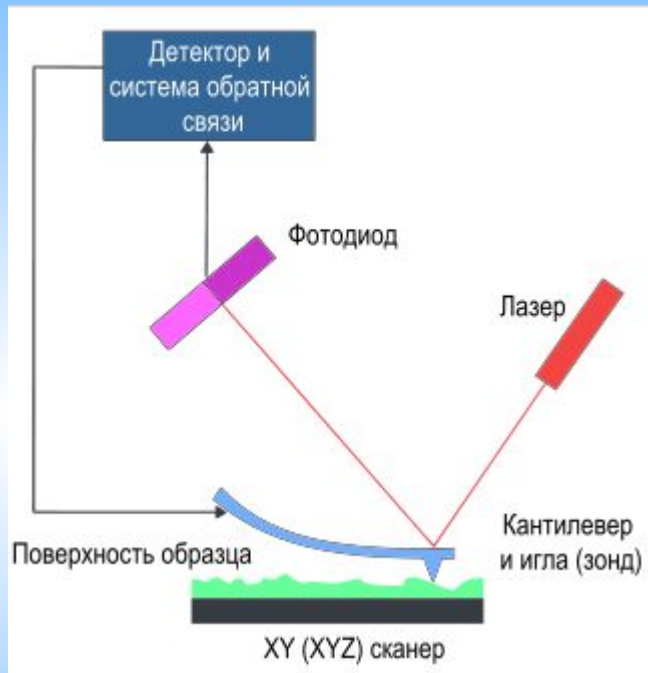
Movie

30 апреля 2013 года учёные из IBM Research показали самый маленький в мире мультфильм нарисованный атомами молекулами окиси углерода (CO) на медной поверхности.

# Механика. Нанотехнологии.

## Сканирующий атомно-силовой микроскоп (АСМ). Atomic Force Microscopy (AFM).

Атомно-силовой микроскоп был создан в 1982 году Гердом Биннигом, Кельвином Куэйтом и Кристофером Гербером в США, как модификация изобретённого ранее сканирующего туннельного микроскопа.



Может использоваться для определения рельефа непроводящих тел.

## **Возможное будущее**

Сканирующий атомно-силовой микроскоп (АСМ).  
Atomic Force Microscopy (AFM).

и

Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ).  
Scanning Tunneling Microscope (STM).

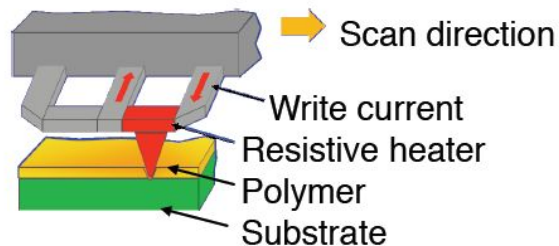
Минимальный размер ячейки для записи 1 бита – 12 атомов

Время доступа?

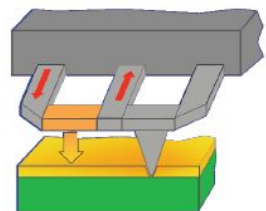
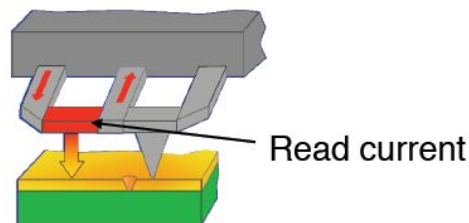
## IBM Millipede Memory

1÷3 Гбит/мм<sup>2</sup>

### Writing



### Reading



© IBM Research Center, Zürich

### Идея

Биты записываются углублениями в полимерной пленке. Используется множество кантилеверов для параллельного доступа.

### Запись

- ❑ Запись "1": игла нагревается до 400 С (выше температуры плавления) и вдавливается в поверхность; игла извлекается после охлаждения.
- ❑ Запись "0": игла нагревается до 400 С и вдавливается в поверхность; игла извлекается горячей, под действием поверхностного натяжения углубление затягивается.

### Чтение

Игла нагревается до 300 С (ниже температуры плавления) и выставляется в необходимую точку. Измеряется температура кантилевера.

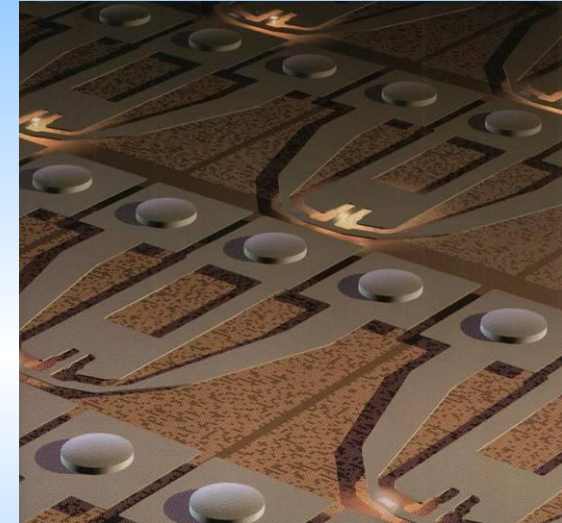
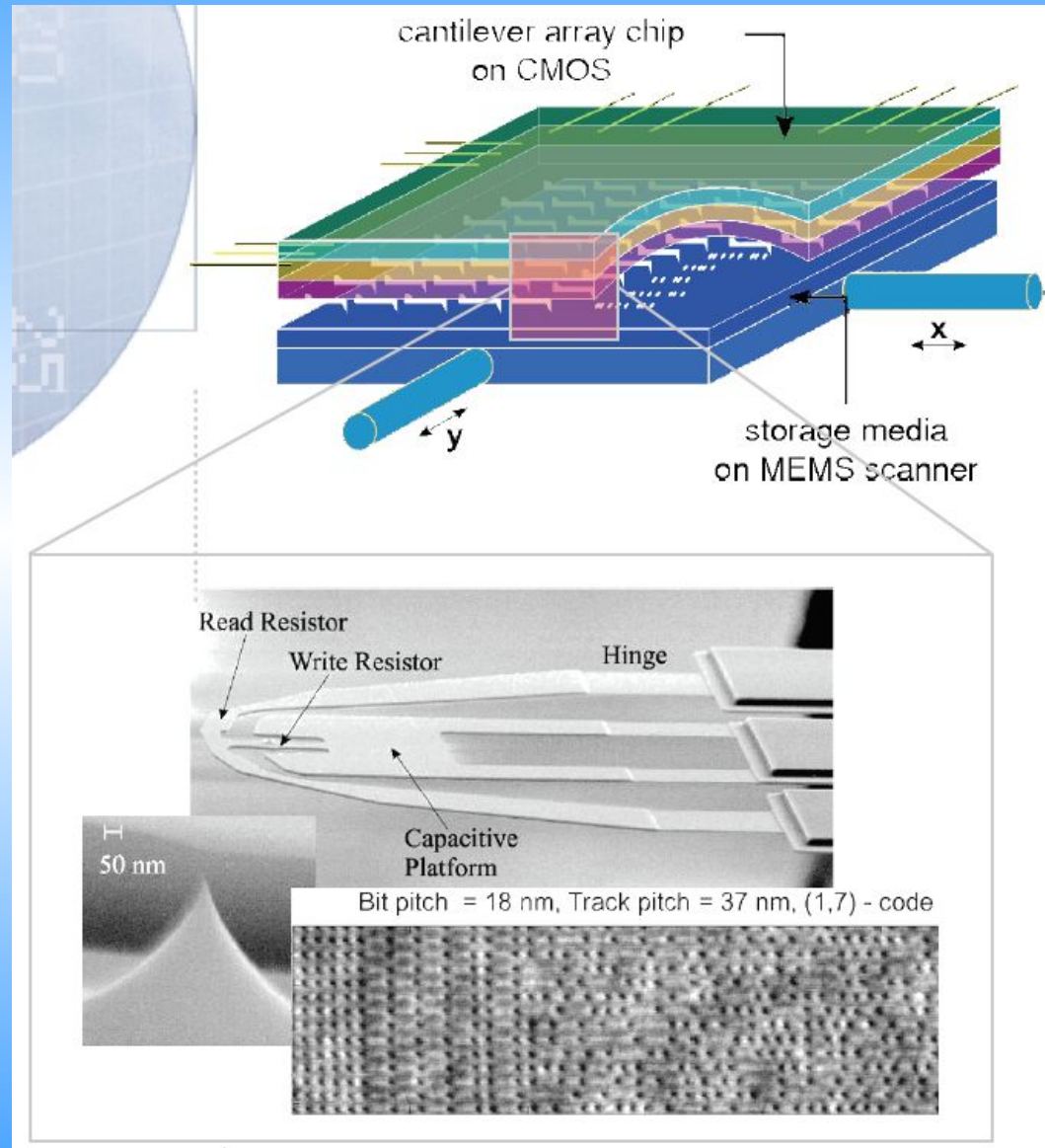
- ❑ Чтение "1". Если игла попала в углубление он остывает быстро. Измеряется сопротивление считывающего резистора.
- ❑ Чтение "0". Если игла попала на плоскость он остывает медленно. Измеряется сопротивление считывающего резистора.

*cantilever* — кронштейн, консоль

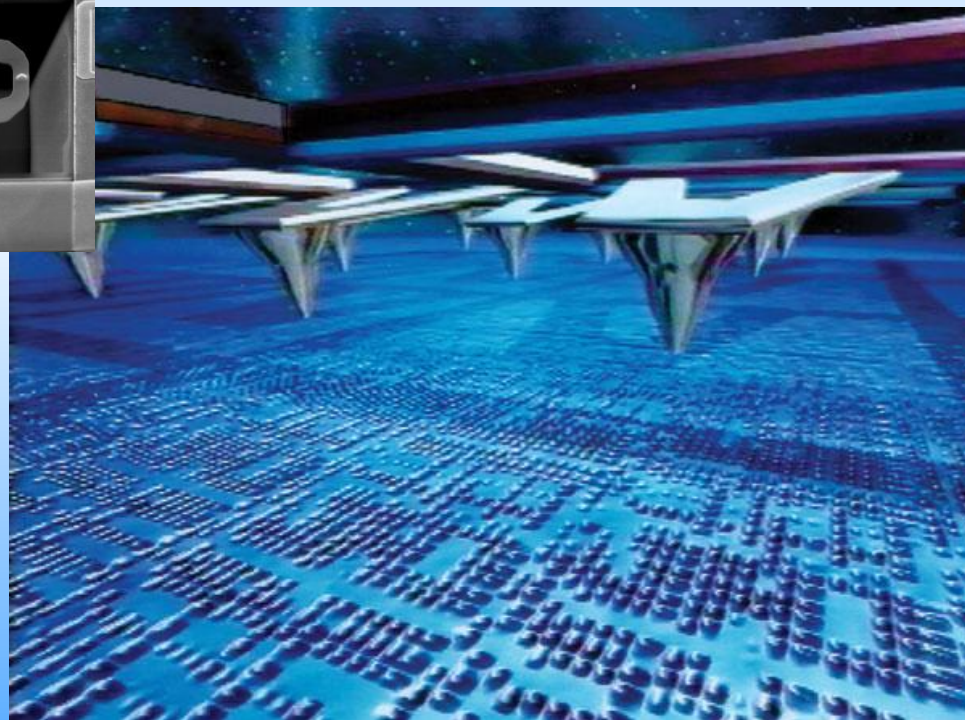
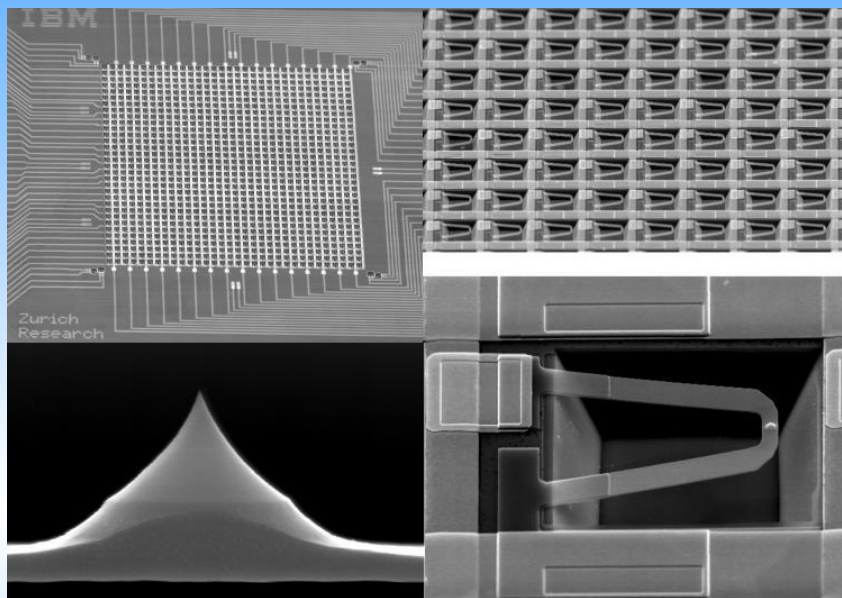
Achieve stability of HDD and speed of DRAM...



## Millipede Memory



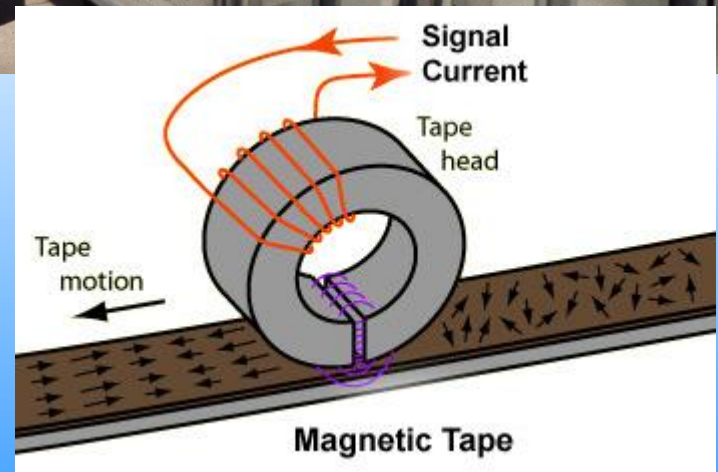
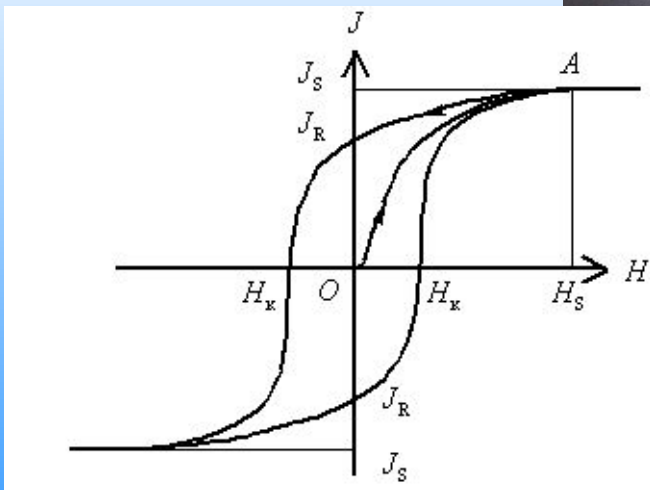
**Millipede Memory**





# Магнетизм. Магнитная лента.

## Magnetic Tape



# Магнетизм. Магнитная лента.

## Система АрВид

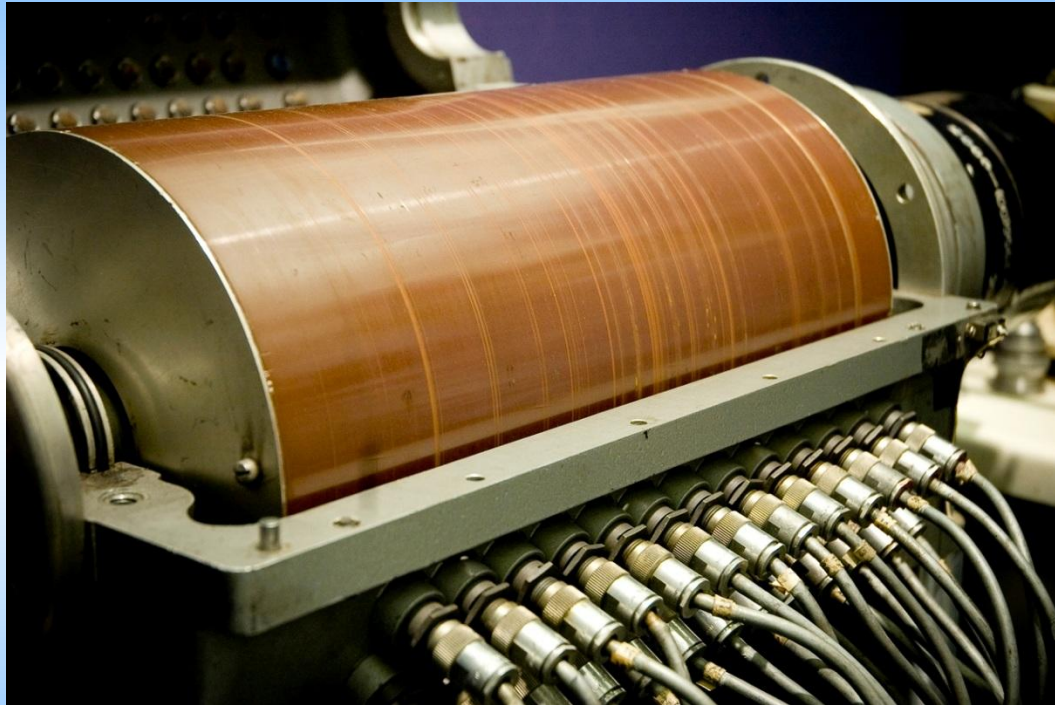


200 кБ/сек

2 ГБ

# *Магнетизм. Магнитный барабан.*

## Magnetic Drum



1955

<http://www.flickr.com/photos/spyndle/1497392167/sizes/o/in/photostream/>



# Магнетизм. Жесткий диск.

## HDD



5 MB



1956

computer-history-museum-1829\_540x360.jpg

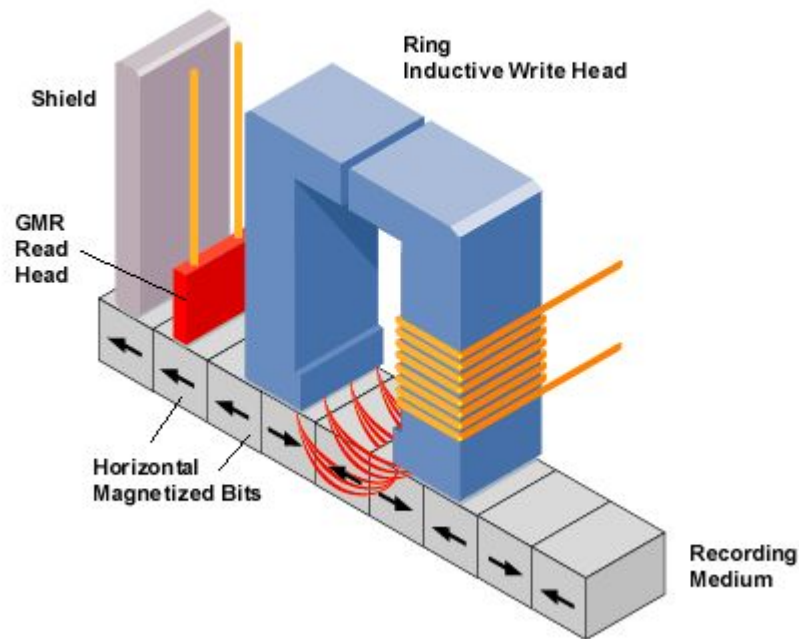




# Магнетизм. Жесткий диск.

## HDD

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2006 The Computer Language Company Inc.

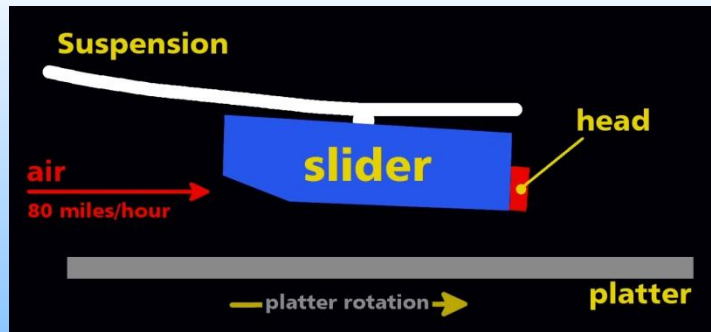
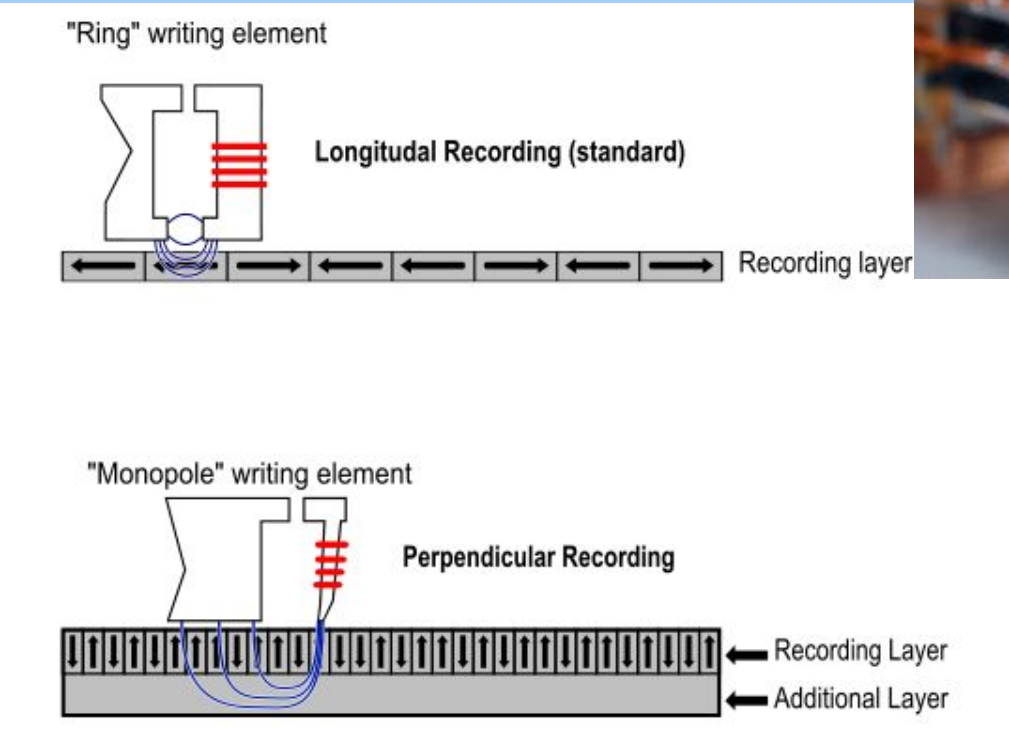


Революция. Считывание на основе гигантского магнито-резистивного эффекта GMR

Нобелевская премия за открытие GMR за 2007. Albert Fert и Peter Grünberg

# Магнетизм. Жесткий диск.

## HDD

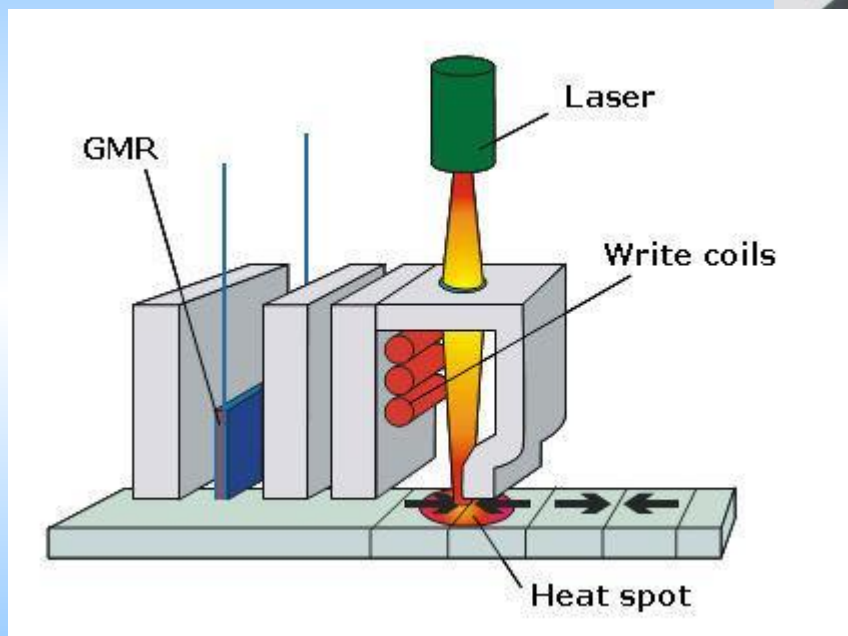


Революция. Переход от продольной записи к перпендикулярной

# Магнетизм. Жесткий диск.

## HDD

### Hitachi Aims for 10TB Drives With Laser Heat



Лазерный подогрев для уменьшения размера бита.

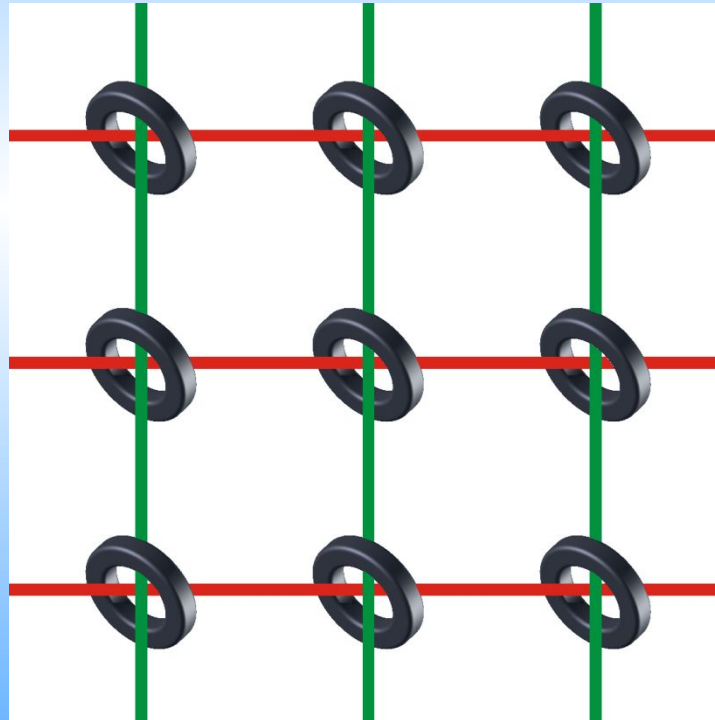
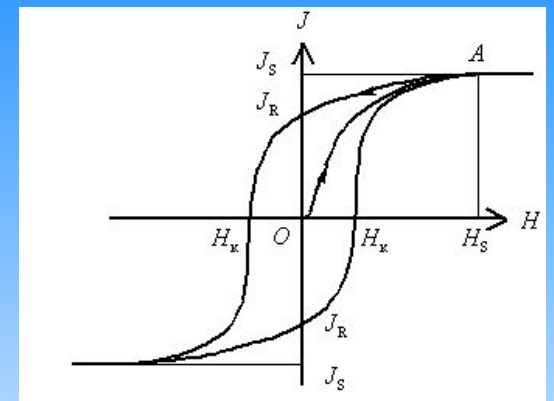
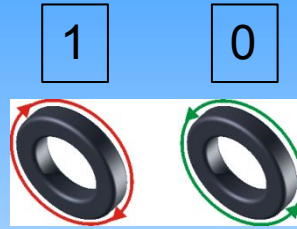
# Магнетизм. Жесткий диск.

## HDD за последние 30 лет

- ❑ Емкость: 3,75 MB ► 4TB
- ❑ Вес: 910kg ► 48g
- ❑ Цена: \$15k/MB ► \$0,0001/MB
- ❑ Время доступа: 100 ms ► 3ms

# Магнетизм. Ферритовые кольца.

## Magnetic core memory



# Магнетизм. Ферритовые кольца.

## Запись

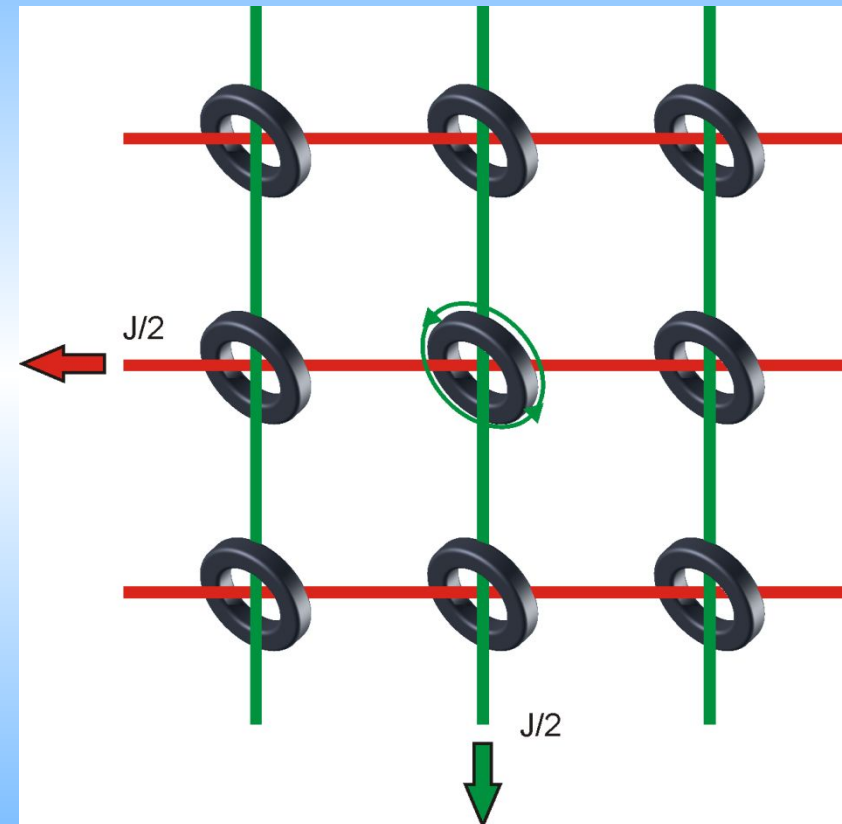
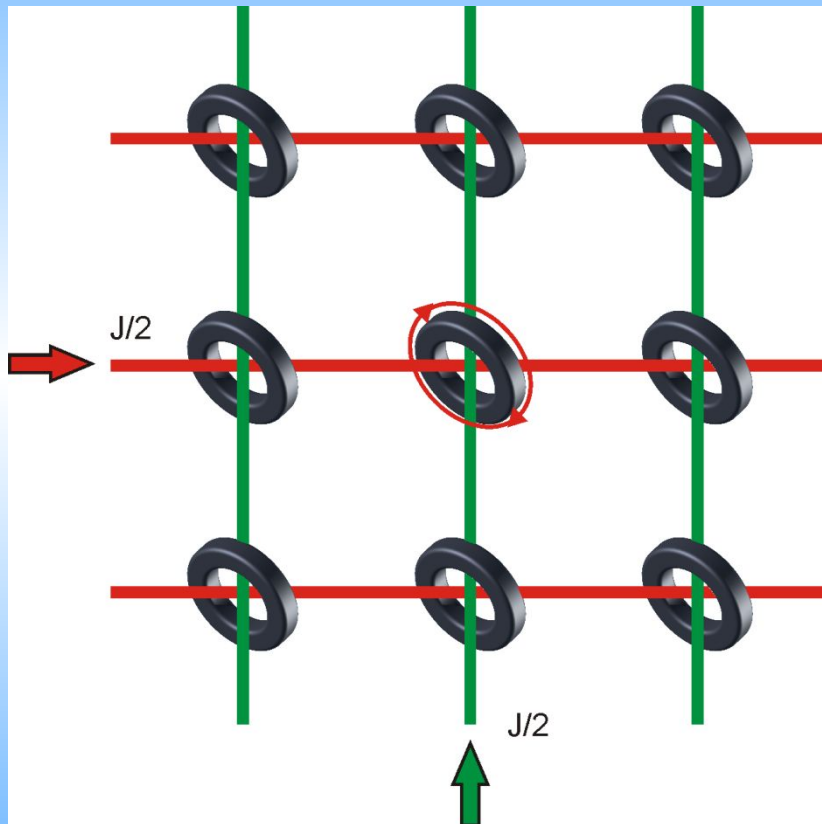
Для перемагничивания необходим ток =  $J$

Запись «1»

Запись «0»

1

0



Для перемагничивания других колец тока недостаточно!

Ток подается только в одну строку и один столбец

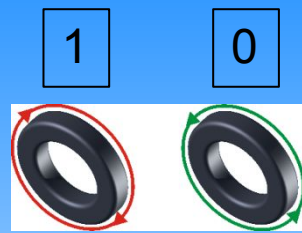
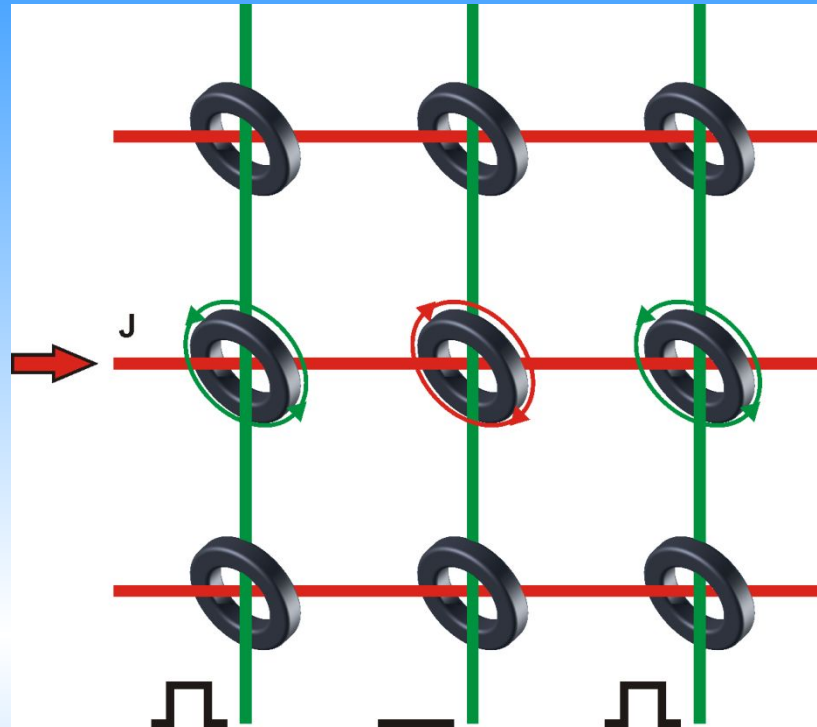
**Память с произвольным доступом (RAM)**



# Магнетизм. Ферритовые кольца.

## Чтение

В выбранную строку подается полный ток  $J$ , достаточный для перемагничивания



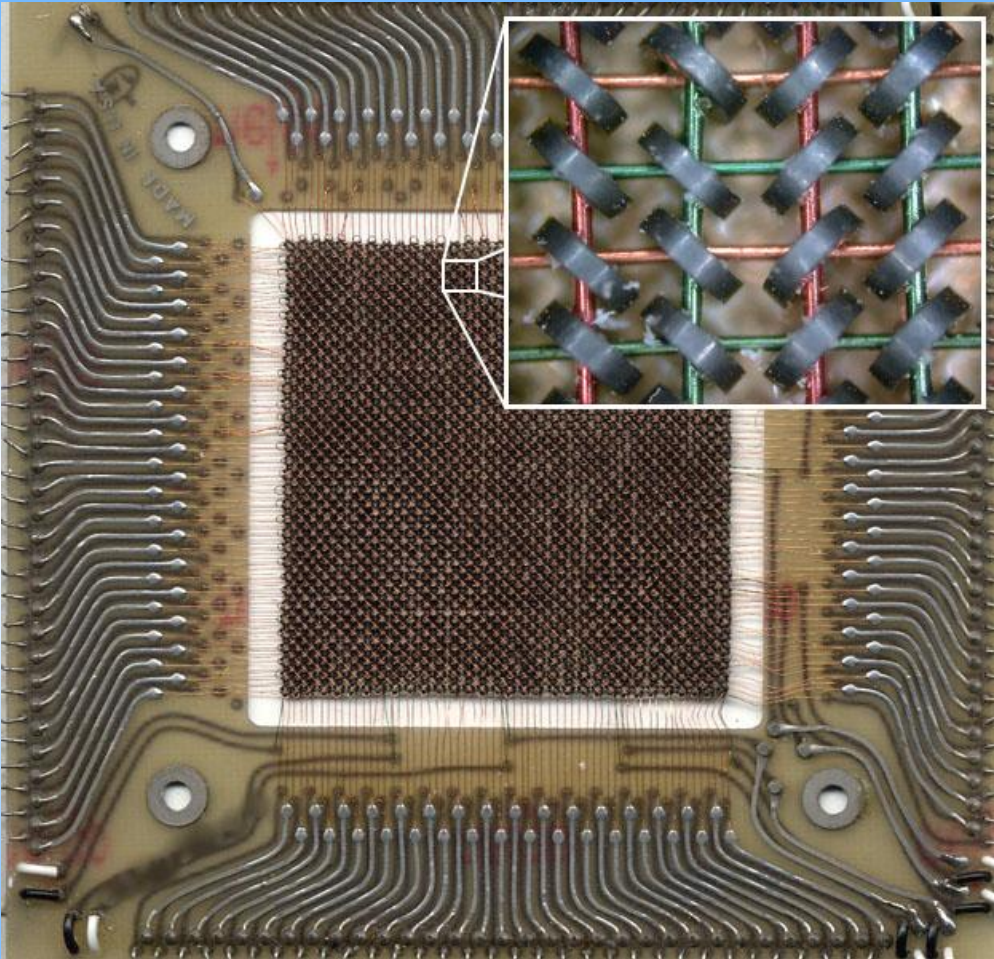
Отслеживаются наведённые импульсы тока на колонках. Импульсы наведенного тока возникают только в колонках где есть перемагничивание. Читается вся строка сразу.

При считывании информация разрушается!  
Её надо потом восстановить.

**Память с произвольным доступом (RAM)**

## Магнетизм. Ферритовые кольца.

### Magnetic core memory

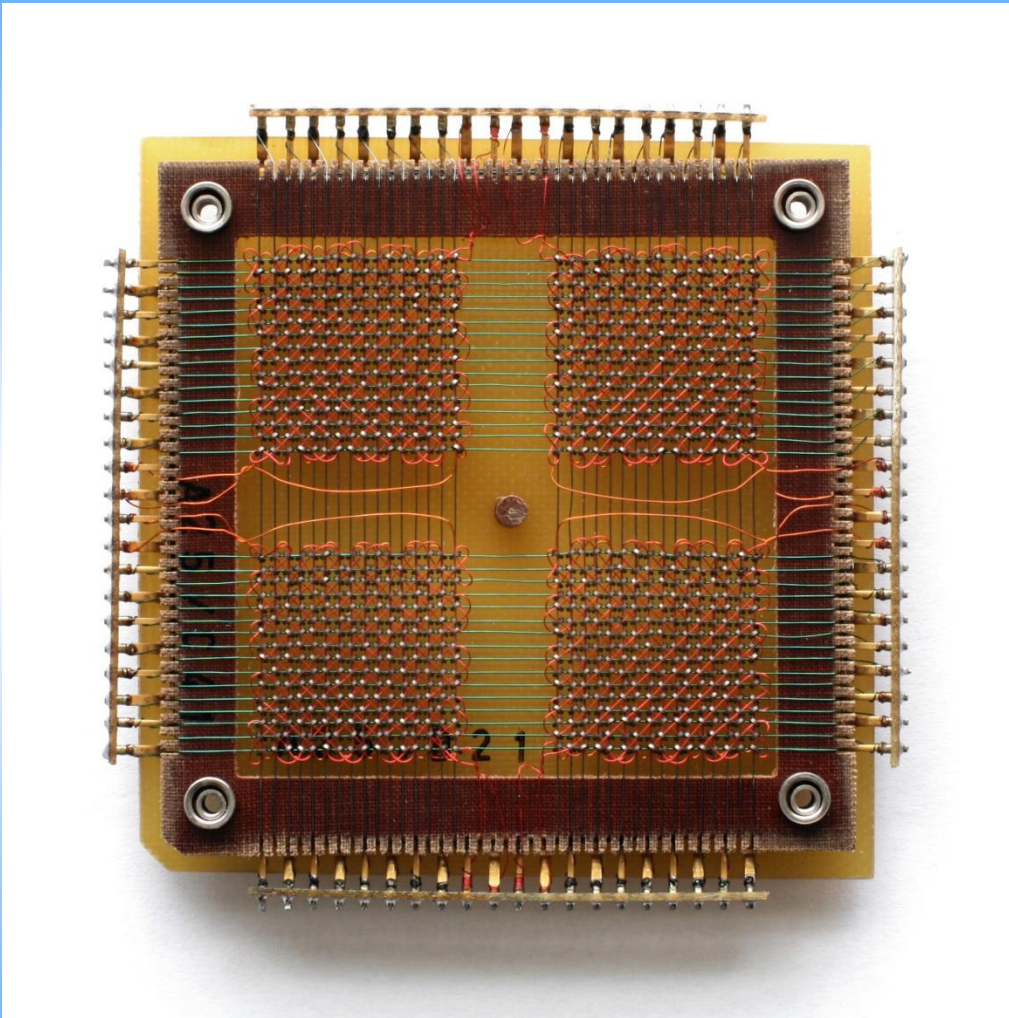


A 10.8×10.8 cm plane of magnetic core memory with 64 x 64 bits (4 Kib), as used in a CDC 6600. Inset shows word line architecture with 2 wires per bit

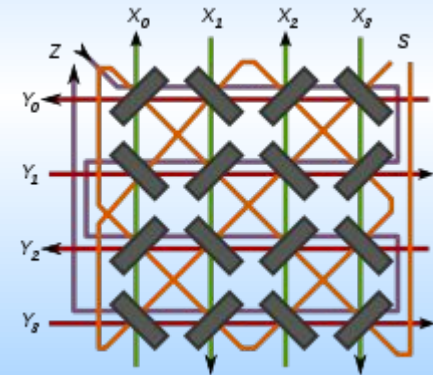
Память на магнитных сердечниках была основным типом компьютерной памяти с середины 1950-х и до середины 1970-х годов

# Магнетизм. Ферритовые кольца.

## Magnetic core memory



A 32 x 32 core memory plane storing 1024 bits of data.



Ферритовая память с дополнительными линиями чтения и запрета.



# Магнетизм. Цилиндрические магнитные домены.

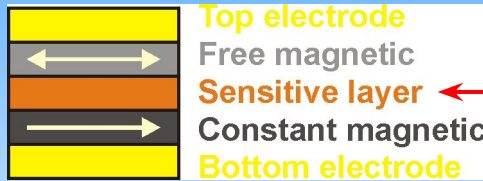
## Magnetic Bubble Memory

Надежда 70 – начала 80 х годов

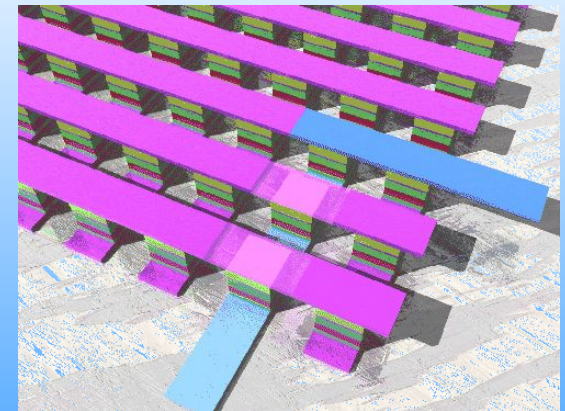
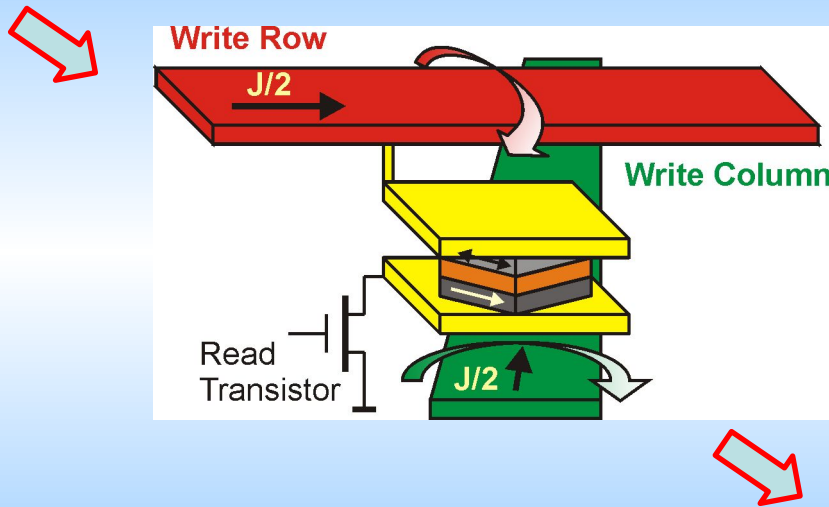


# Магнетизм. Магниторезистивная память.

## Magnetoresistive random access memory (MRAM)



- Туннельный эффект.
- Гигантский магниторезистивный эффект (GMR)



# Магнетизм. Магниторезистивная память.

## MRAM

<http://www.osp.ru/news/2013/1101/13021707/>

01.11.2013

«Крокус Нанoeлектроника» запускает первую очередь завода по производству MRAM



Совместное предприятие «Роснано» и Crocus Technology, компания «Крокус Нанoeлектроника» приступила к производству магниторезистивной памяти (MRAM). Производство размещено на территории технополиса «Москва» на территории бывшего АЗЛК. «Крокус Нанoeлектроника» стала первым резидентом будущего микроэлектронного кластера.

Продукция проекта, основанная на MRAM и технологии MLU (Magnetic-Logic-Unit — «магнитная логическая ячейка»), разработанной Crocus Technology совместно с IBM, может использоваться в смарт-картах, сетевых коммутаторах, устройствах биометрической аутентификации, коммуникационных устройствах малого радиуса действия и защищенной памяти. Ожидается, что объем общего рынка применений продукции проекта в 2014 году превысит 8 млрд долл.

Первая очередь производства «Крокус Нанoeлектроника» станет первым в мире производством MRAM с проектными нормами 90 нм. К концу 2014 года его производительность составит 500 пластин в неделю.