

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Внешняя память в ЭВМ (I)

Магнетизм

Магнитные материалы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики

Кривая намагниченности ферромагнетиков: мягкие и жесткие ферромагнетики

Температура Кюри

Доменная структура

Принципы записи и считывания информации на магнитных носителях

Типы магнитных носителей и магнитных головок

Предельная плотность записи и скорость доступа к записанной информации

Продольная и поперечная запись информации

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнетизм

**Магнетизм** - форма взаимодействия движущихся электрических зарядов, которая осуществляется на расстоянии (дальнодействие) посредством магнитного поля. Как и электричество, магнетизм является проявлением т.н. электромагнитного взаимодействия. С точки зрения квантовой теории э/м взаимодействие переносится фотоном - частицей, которая описывает квантовое возбуждение э/м поля

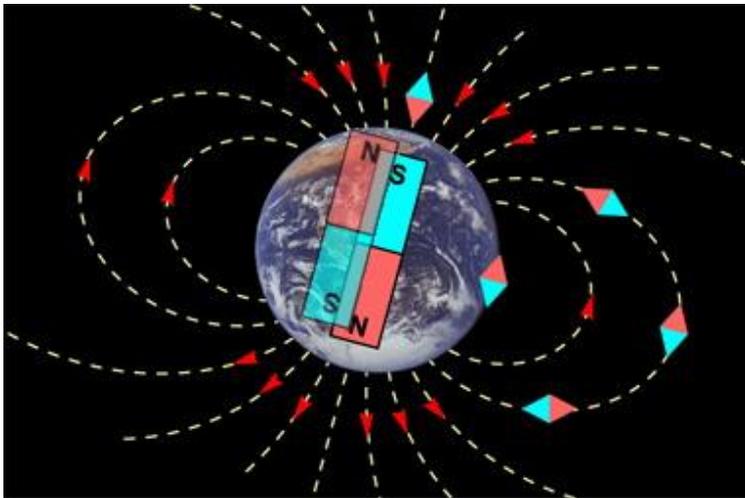


Первые упоминания о применении магнитных материалов относятся к III-му тысячелетию до н.э., когда китайский император Хуан-Ди использовал компас во время одной из битв

Китайские мореплаватели конца второго тысячелетия до н.э. использовали такой компас для морской навигации

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнетизм



Название	Формула	$\chi$ , см <sup>3</sup> /г
----------	---------	-----------------------------

### Сильномагнитные минералы

Магнетит	$\text{FeFe}_2\text{O}_4$	$0,15 - 1,02$
Пирротин	$\text{Fe}_{1-x}\text{S}$	$15 \cdot 10^{-4}$

### Слабромагнитные (электромагнитные) минералы

Ильменит	$\text{FeTiO}_3$	$(15 - 1000) \cdot 10^{-6}$
Альмандин	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	$(50 - 150) \cdot 10^{-6}$
Диопсид	$\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	$(12 - 13) \cdot 10^{-6}$
Биотит	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_{2-3}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	$(30 - 76) \cdot 10^{-6}$
Сфалерит	$\text{ZnS}$	$((-0,68) - 18) \cdot 10^{-6}$
Рутил	$\text{TiO}_2$	$(0,7 - 4,8) \cdot 10^{-6}$
Пирит	$\text{FeS}_2$	$(0,2 - 0,7) \cdot 10^{-6}$

### Немагнитные минералы

Касситерит	$\text{SnO}_2$	$((-0,29) - 2,25) \cdot 10^{-6}$
Флюорит	$\text{CaF}_2$	$-0,36 \cdot 10^{-6}$
Барит	$\text{Ba}(\text{SO}_4)$	$-0,28 \cdot 10^{-6}$
Кварц	$\text{SiO}_2$	$-0,46 \cdot 10^{-6}$
Кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	$-0,38 \cdot 10^{-6}$

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнетизм



1820 г. - А.М. Ампер - гипотеза молекулярных токов (альтернатива гипотезе элементарных магнитных диполей В.Э. Вебера)

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

1834 г. – Э.Х. Ленц - правило о направлении 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

1896 г. – Х.А. Лоренц – электронная теория магнитных свойств и объяснение эффекта Зеемана

1905 г. – П. Ланжевен - классическая трактовка теории диа- и парамагнетизма



# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнетизм

Закон э/м индукции Фарадея использует понятие магнитного потока  $\Phi_B$  через замкнутую поверхность  $\Sigma$ , который определён через поверхностный интеграл:

$$\Phi_B = \iint_{\Sigma(t)} \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{A} ,$$

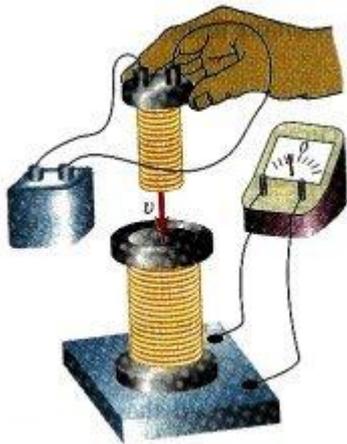
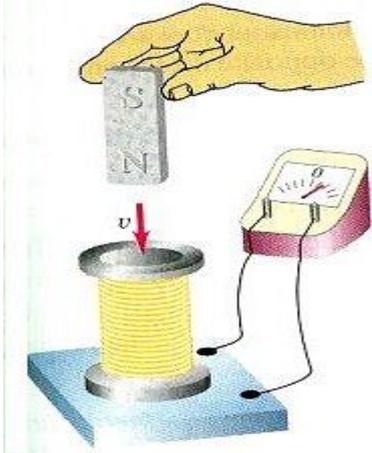
где  $d\mathbf{A}$  - площадь элемента движущейся поверхности  $\Sigma(t)$ ,  $\mathbf{B}$  - магнитное поле.

Когда  $\Phi_B$  меняется, работа  $\varepsilon$  по перемещению пробного заряда вокруг замкнутой кривой  $\partial\Sigma(t)$  производится силой, называемой ЭДС, величина которой определяется по формуле:

$$|\mathcal{E}| = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| ,$$

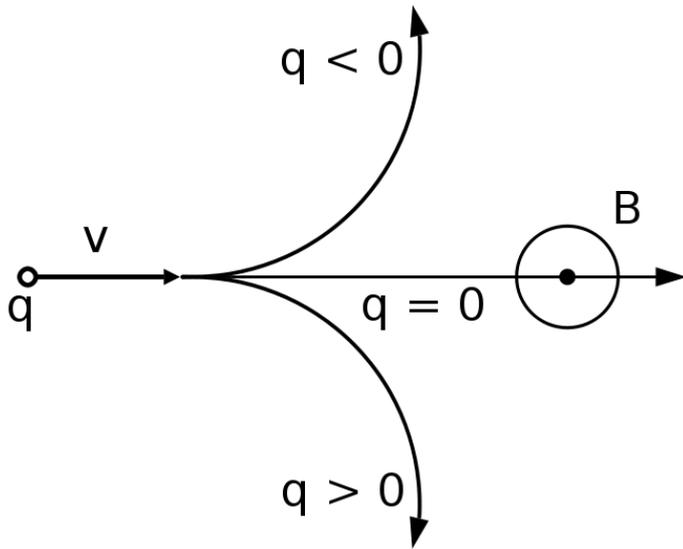
где направление ЭДС определяется законом (правилом) Ленца:

Индукционный ток имеет такое направление, что собственный магнитный поток компенсирует изменения внешнего магнитного потока, вызвавшего этот ток (1833 г.)



# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнетизм



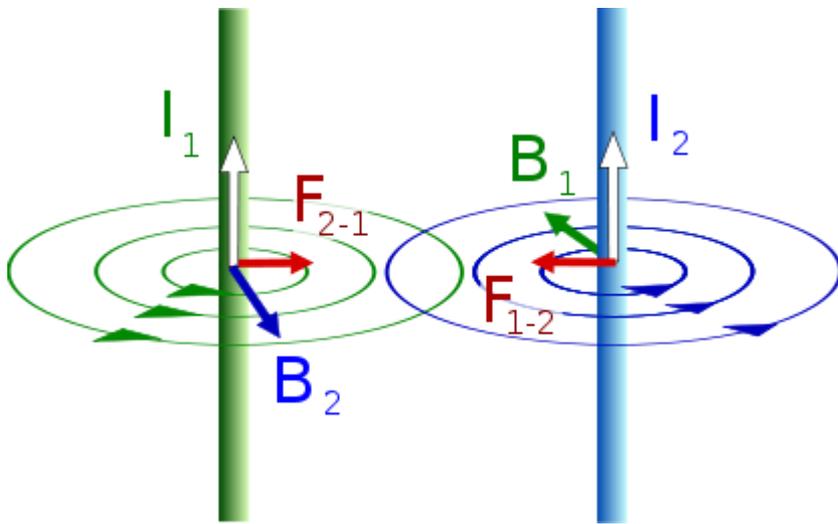
**Сила Лоренца** (1892 г.) - сила, с которой э/м поле действует на точечный заряд. Силой Лоренца иногда называют силу, действующую на заряд  $q$ , движущийся со скоростью  $\mathbf{v}$ , лишь со стороны магнитного поля, но чаще полную силу - т.е. силу, действующую на заряд со стороны электрического  $\mathbf{E}$  и магнитного полей  $\mathbf{H}$

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + [\mathbf{v} \times \mathbf{B}])$$

Частным случаем силы Лоренца является сила Ампера

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнетизм



**Закон Ампера** (1820 г.) - описывает магнитное взаимодействие постоянных токов. Из закона следует, что два параллельных проводника с токами, протекающими в одном направлении, притягиваются, а в противоположных - отталкиваются.

Законом Ампера называют также закон, определяющий силу, с которой магнитное поле действует на малый отрезок проводника с током.

Сила  $d\vec{F}$ , с которой магнитное поле действует на элемент  $d\vec{l}$  проводника с током  $I$ , находящегося в магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнитные материалы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики



*Лягушка левитирует в магнитном поле ~16 Т*

**Диамагнетики** - вещества, намагничивающиеся против направления внешнего магнитного поля. Без внешнего поля они немагнитны, а под его действием каждый атом приобретает магнитный момент  $I$ , пропорциональный магнитной индукции  $H$  и направленный навстречу полю. Поэтому магнитная восприимчивость  $\chi = I/H$  у диамагнетиков мала, отрицательна и слабо зависит от напряжённости магнитного поля и температуры

1778 г. - С. Дж. Бергман обнаружил, что висмут и сурьма отталкиваются магнитным полем

1845 г. – Майкл Фарадей вводит термин «диамагнетизм»

К диамагнетикам относятся инертные газы, азот, водород, кремний, фосфор, висмут, цинк, медь, золото, серебро, а также многие соединения, как органические, так и неорганические

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнитные материалы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики



**Парамагнетики** - вещества, которые намагничиваются во внешнем поле в направлении этого поля. Их магнитная восприимчивость  $\chi = I/H$  положительна и мала.

Термин «парамагнетизм» ввел в 1845 г. Майкл Фарадей, который разделил все вещества (кроме ферромагнитных) на диа- и парамагнитные.

Атомы (молекулы) парамагнетика обладают собственными магнитными моментами, которые под действием внешнего поля ориентируются и создают результирующее поле, превышающее внешнее. Парамагнетики втягиваются в магнитное поле. Без внешнего поля парамагнетик не намагничен, т.к. из-за теплового движения магнитные моменты атомов ориентированы беспорядочно.

Парамагнетиками являются Al, Pt, щелочные и щелочно-земельные металлы, сплавы этих металлов,  $O_2$ , NO, MnO,  $FeCl_2$  и др.

Парамагнетиками становятся ферро- и антиферромагнетики при температурах, превышающих  $T_C$  и  $T_N$ , соответственно.

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнитные материалы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики



**Ферромагнетики** - вещества, в которых ниже критической температуры (точка Кюри) устанавливается дальний ферромагнитный порядок магнитных моментов атомов / ионов (в неметаллических кристаллах) или моментов коллективизированных электронов (в металлах). Т.е. ферромагнетик - такое вещество, которое ниже точки Кюри, может обладать намагниченностью в отсутствие внешнего поля

Магнитная восприимчивость  $\chi = I/H$  у ферромагнетиков положительна и значительно больше единицы

Ферромагнетками являются переходные элементы Fe, Co и Ni (3d-металлы), а также редкоземельные металлы Gd, Tb, Dy, Ho, Er

Ферромагнитны многие бинарные и многокомпонентные сплавы перечисленных металлов, сплавы и соединения Cr и Mn с неферромагнитными элементами, а также некоторые соединения металлов группы актиноидов (например,  $UH_3$ )

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Температура Кюри

**Температура Кюри** - температура фазового перехода, связанного со скачком магнитных свойств ферромагнетиков



Материал	$T_c$ (К)
Co	1388
Fe	1043
Fe <sub>2</sub> B	1015
FeOFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	858
NiOFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	858
CuOFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	728
MgOFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	713
MnBi	630
Cu <sub>2</sub> MnAl	630
Ni	627

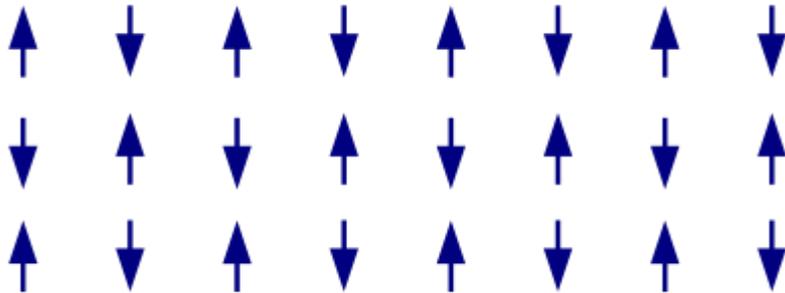
При  $T < T_c$  в ферромагнетиках наблюдается спонтанная намагниченность и магнитно-кристаллическая симметрия.

При  $T = T_c$  тепла становится достаточно для разрушения «магнитного порядка» и изменения симметрии. Ферромагнетик становится парамагнетиком

Материал	$T_c$ (К)
MnOFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	573
Y <sub>3</sub> Fe <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	560
Cu <sub>2</sub> MnIn	500
CrO <sub>2</sub>	386
MnAs	318
Gd	292
Au <sub>2</sub> MnAl	200
Dy	88
EuO	69
CrBr <sub>3</sub>	37
EuS	16,5
GdCl <sub>3</sub>	2,2

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнитные материалы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики



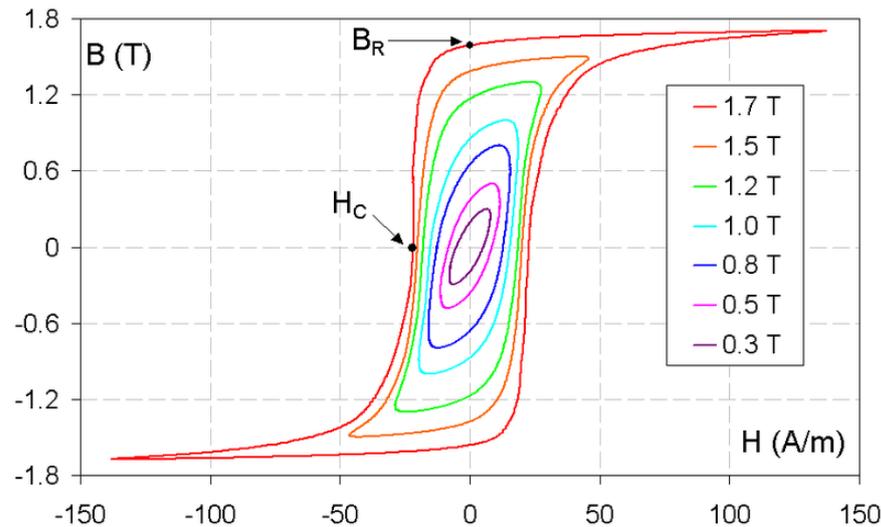
**Антиферромагнетик** - вещество, в котором установился антиферромагнитный порядок магнитных моментов атомов или ионов

Среди элементов антиферромагнетиками являются твердый кислород, Cr, а также ряд редкоземельных металлов (Dy, Ho, Er, Tm, Tb).

Аналогично ферромагнетикам при  $T = T_N$  (в т.н. точке Нееля) у антиферромагнетиков происходит разрушение магнитной структуры (магнитных подрешёток), и они также как ферромагнетики становятся парамагнетиками

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Кривая намагниченности ферромагнетиков: мягкие и жесткие ферромагнетики

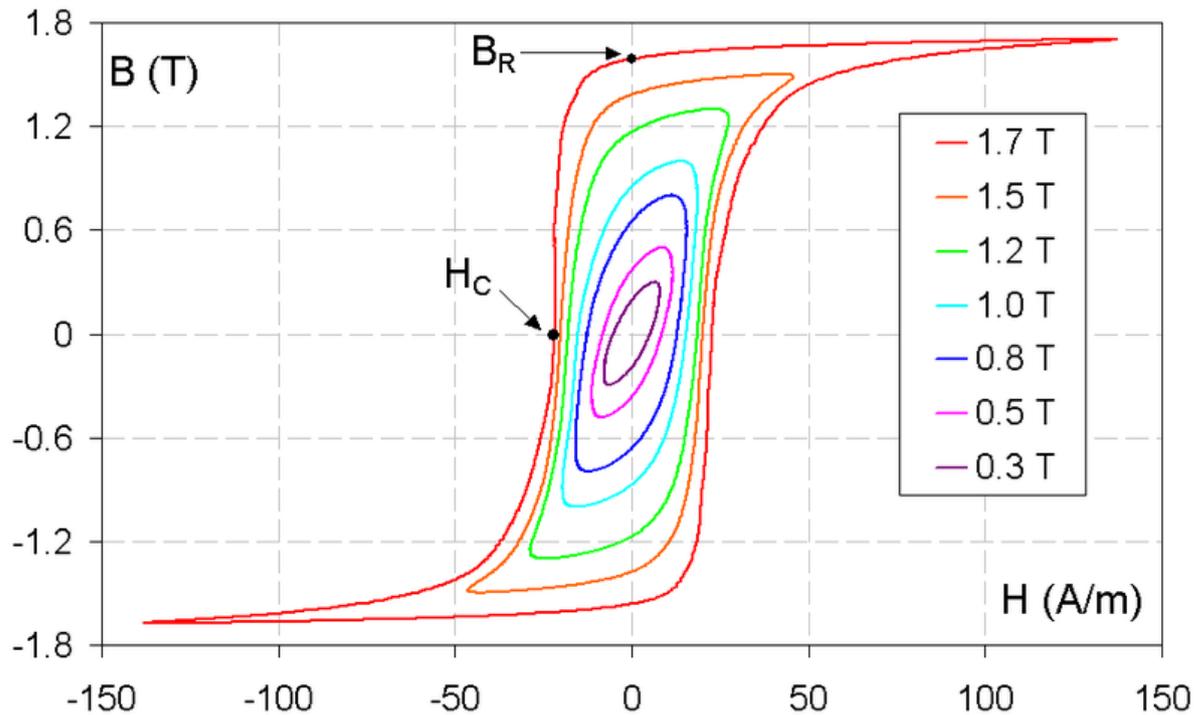


**Магнитный гистерезис** - явление, обуславливающее зависимость вектора намагниченности  $M$  и вектора напряженности магнитного поля в веществе не только от приложенного внешнего поля, но и от предыстории данного образца. Магнитный гистерезис обычно проявляется в ферромагнетиках - Fe, Co, Ni и сплавах на их основе.

Именно магнитным гистерезисом объясняется существование постоянных магнитов

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Кривая намагниченности ферромагнетиков: мягкие и жесткие ферромагнетики



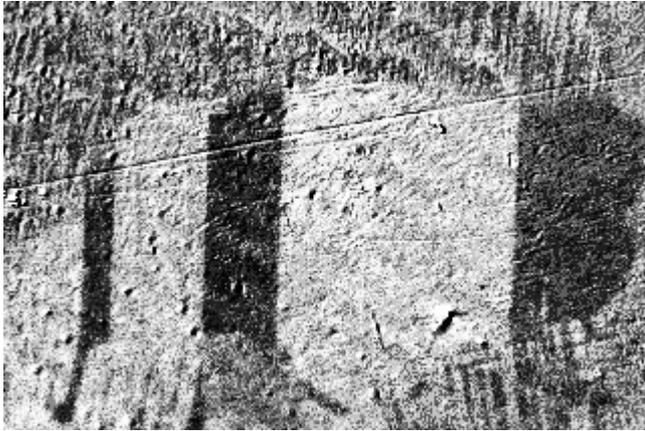
$B_R$  характеризует остаточную намагниченность

Если  $B_R$  велико, ферромагнетик называют «жестким», а если мало – «мягким»

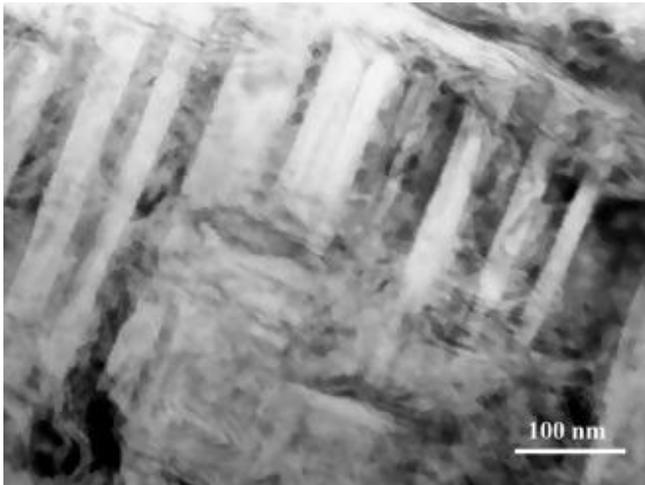
При записи информации мягкие магнитные материалы используют в магнитных головках, а жесткие - для создания носителей информации

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Доменная структура



**Домены** - макроскопические области в магнитных кристаллах, в которых существует определенная ориентация вектора спонтанной однородной намагниченности (ферромагнетики) либо вектора антиферромагнетизма (при температуре ниже точек Кюри и Нееля, соответственно) и эта ориентация отличается от ориентации соответствующего вектора в соседних доменах



Домены существуют в ферромагнитных и антиферромагнитных кристаллах, а также других веществах, обладающих спонтанным дальним порядком (например, сегнетоэлектриках)

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнитная запись информации



1888 г. - Оберлайн Смит – магнитная запись на стальную проволоку

1896 г. - Вальдеммар Поульсен - первое работающее устройство (телеграфон)

1920 г. - Шуллер - кольцевая магнитная головка

1925 г. - Курт Штилле - запись речи

1927 г. - Фриц Пфлеймер - магнитная лента

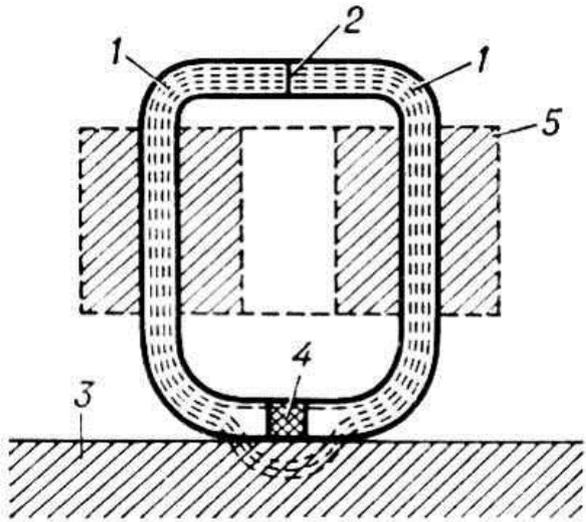
1934 г. - BASF - выпуск магнитной ленты (карбонильное железо на диацетатной основе)

1945 г. - Peirce 55-B - магнитофон для записи на магнитную проволоку



# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнитная запись информации



1 – сердечник из жесткого ферромагнетика

2, 4 – зазоры

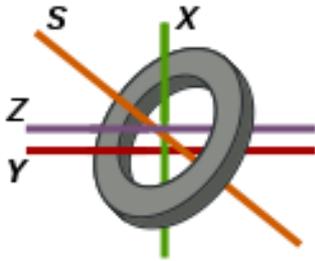
3 – магнитная лента из мягкого ферромагнетика

5 – обмотка (катушка)

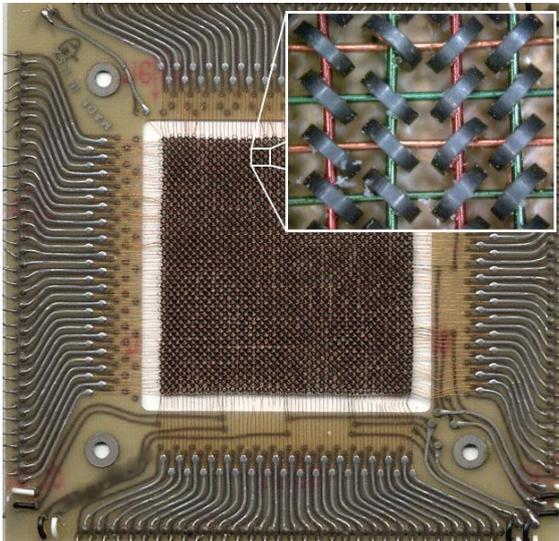
Магнитная головка - кольцевой магнитный сердечник с обмоткой на одной стороне и зазором на другой.

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магнитная запись информации



X и Y - возбуждение  
S - чтение, Z - запрет



Матрица CDC 6600 (1964)  
10,8 × 10,8 см, емкость 4096 бит

Память на магнитных сердечниках (ферритовая память) - запоминающее устройство, хранящее информацию в виде направления намагниченности небольших ферритовых сердечников, обычно имеющих форму кольца. Ферритовые кольца заполняли прямоугольную матрицу и через каждое кольцо проходило, в зависимости от конструкции запоминающего устройства, от двух до четырёх проводов для считывания и записи информации.

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

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Принципы записи и считывания 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)

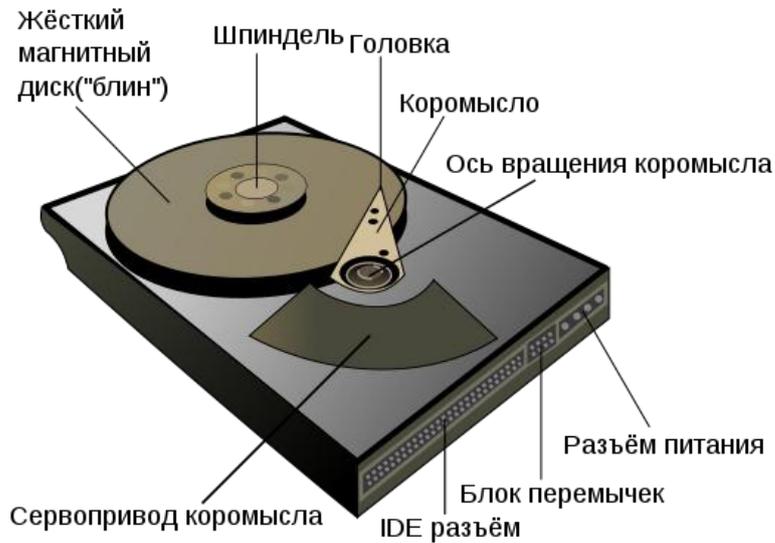
Версия (HD) имеет объём 1,44 Мбайт (18 секторов)

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

2011 г. - Sony - официально прекращает производство и продажу дискет 3½"

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

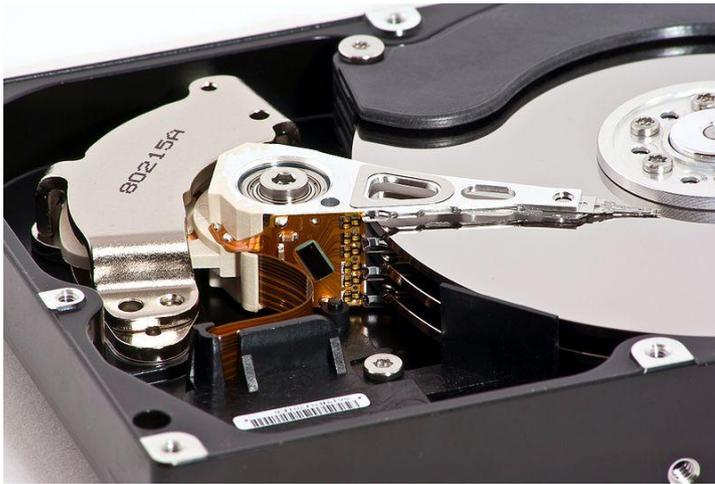
## Принципы записи и считывания информации на магнитных носителях



В отличие от «гибкого» диска информация в «жестком» диске (винчестере) записывается на жесткие (алюминиевые или стеклянные) пластины, покрытые слоем ферромагнетика. В жестком диске используется одна или несколько пластин, установленных на одной оси

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

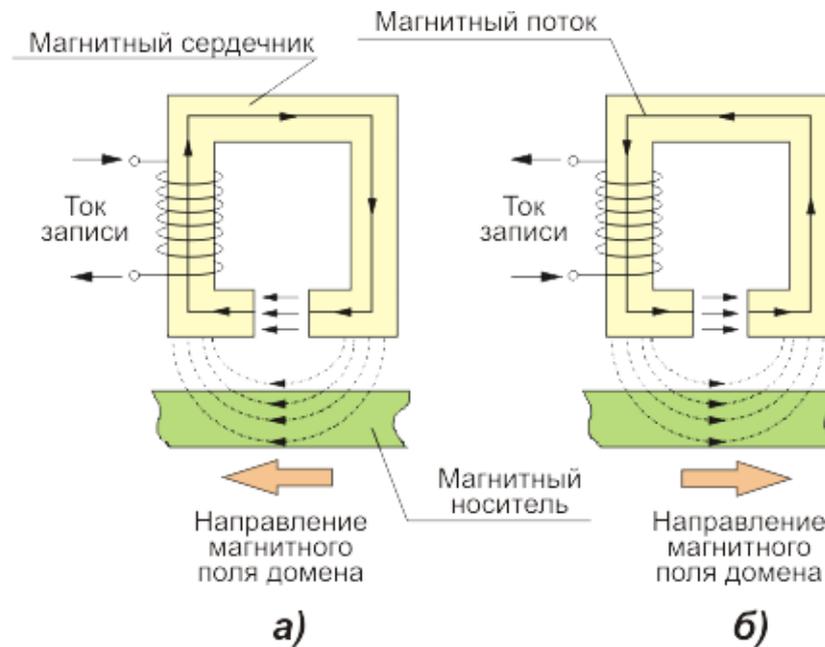
## Принципы записи и считывания информации на магнитных носителях



Считывающие головки не касаются поверхности пластин благодаря тонкой прослойке набегающего потока воздуха, образующейся у поверхности диска при его быстром вращении. Расстояние между самой головкой и диском находится в нм диапазоне (в современных дисках  $\sim 10$  нм), причем именно отсутствие механического контакта обеспечивает долгий срок службы устройства

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

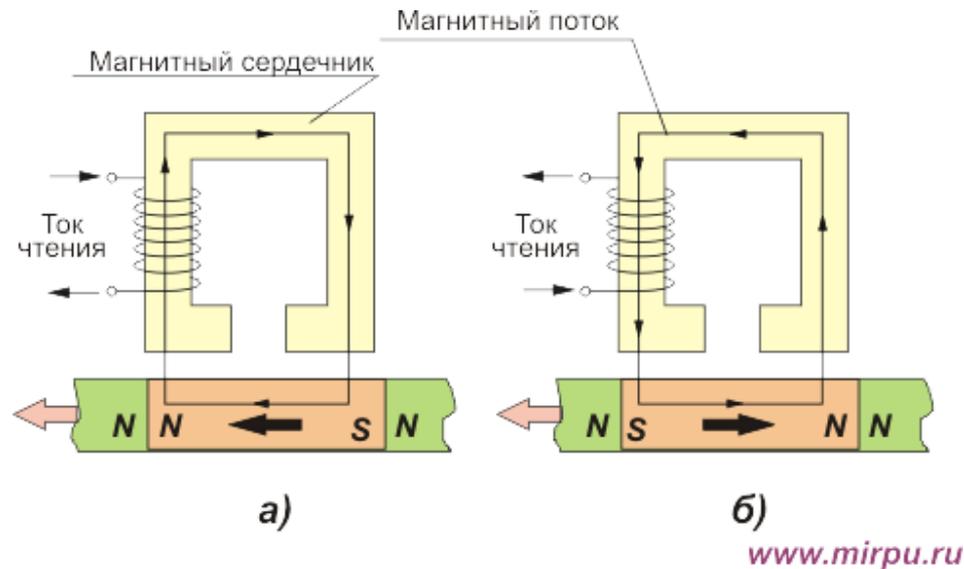


[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

При записи в обмотку головки подаётся ток записи, вызывающий выход магнитного поля в зазор. Это поле намагничивает носитель в соответствии с изменением электрического сигнала

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок



При чтении носитель замыкает магнитный поток через зазор на сердечник и наводит ЭДС в обмотке.

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок



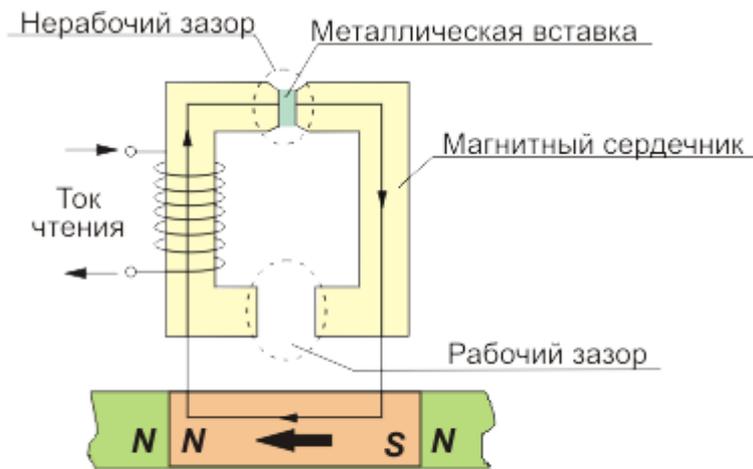
### Первый жесткий диск RAMAC (IBM, 1956 г.)

Емкость	5 Мбайт
Количество дисков	50
Диаметр	24 дюйма
Скорость вращения	1200 об./мин
Время доступа	1 с
Плотность записи	2 Кбит/дюйм <sup>2</sup>
Стоимость	50 тыс. \$

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

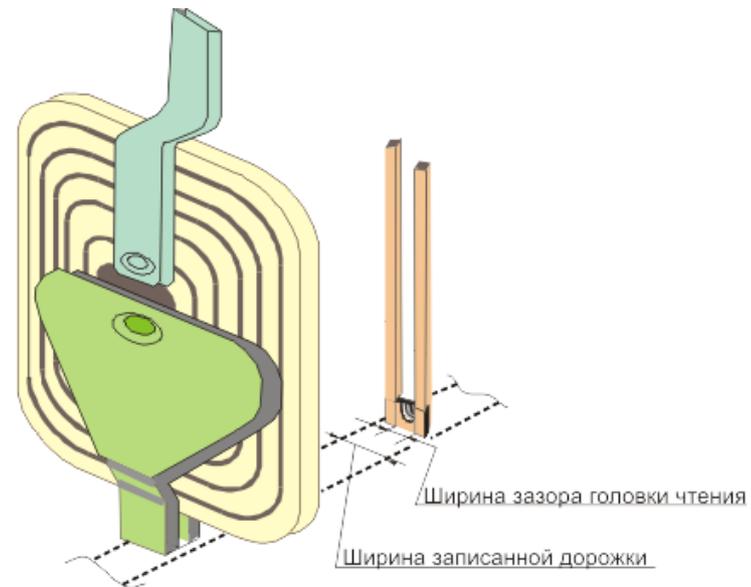
## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### MIG (Metal-in-Gap) и TF (Thin Film) головки



[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

MIG головка позволяет уменьшить насыщение сердечника и повысить магнитную индукцию



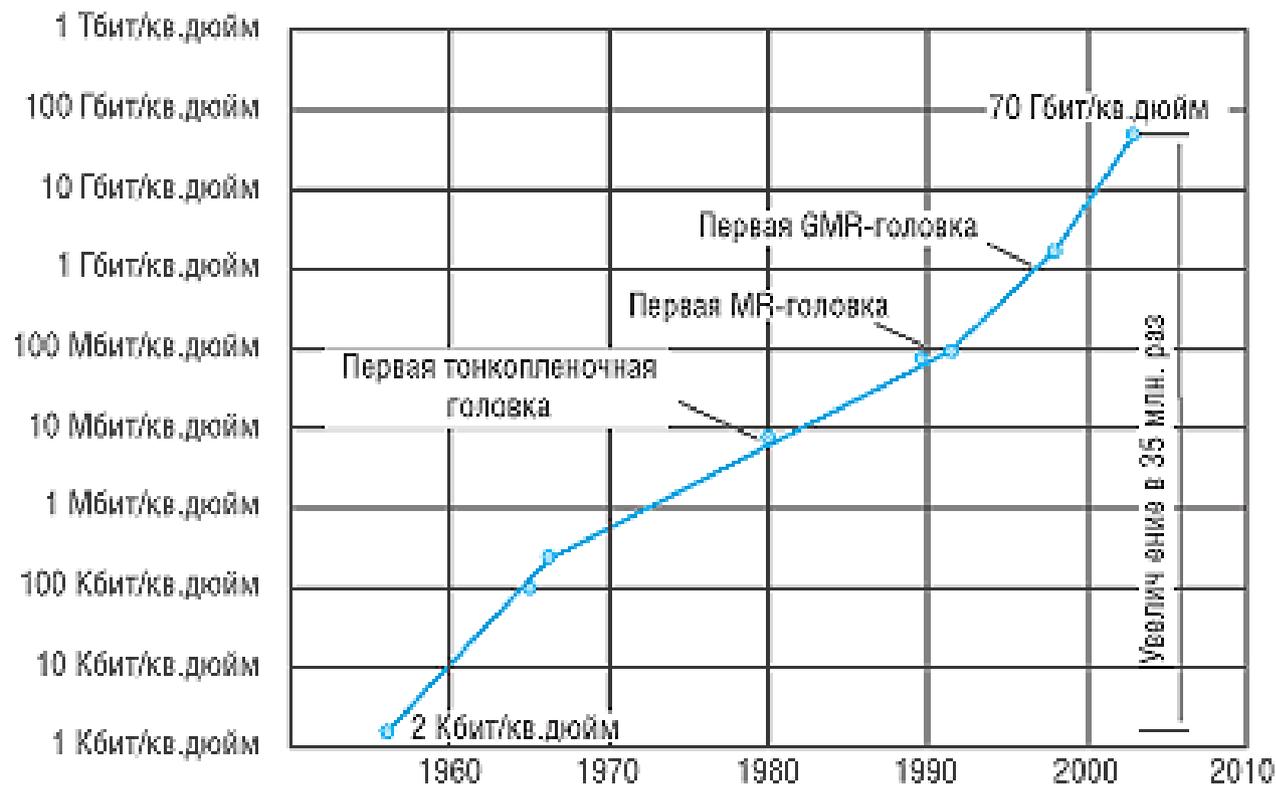
[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

TF головка позволяет уменьшить до ~ 30 нм расстояние между носителем и головкой

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии записи на магнитный диск

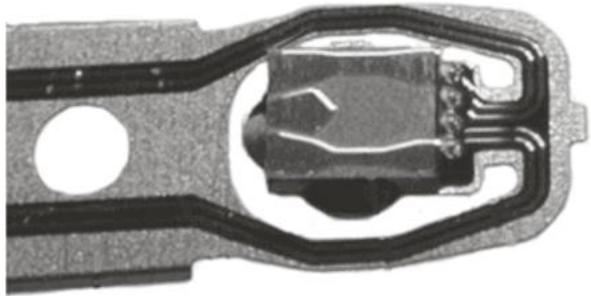


Изменение плотности записи на пластину

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии чтения с магнитного диска



[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

Под действием внешнего магнитного поля сопротивление MR головки меняется. Оно оказывается разным при прохождении над участками носителя с разным значением остаточной намагниченности. Через головку постоянно протекает небольшой постоянный измерительный ток, и при изменении сопротивления головки меняется падение напряжения

MR головки позволяют читать информацию при самых высоких значениях плотности записи и быстродействия накопителей

1857 г. - лорд Кельвин – открытие магниторезистивного (MR) эффекта

1991 г. - IBM - MR головки установлены в жестком диске емкостью 1 Гбайт

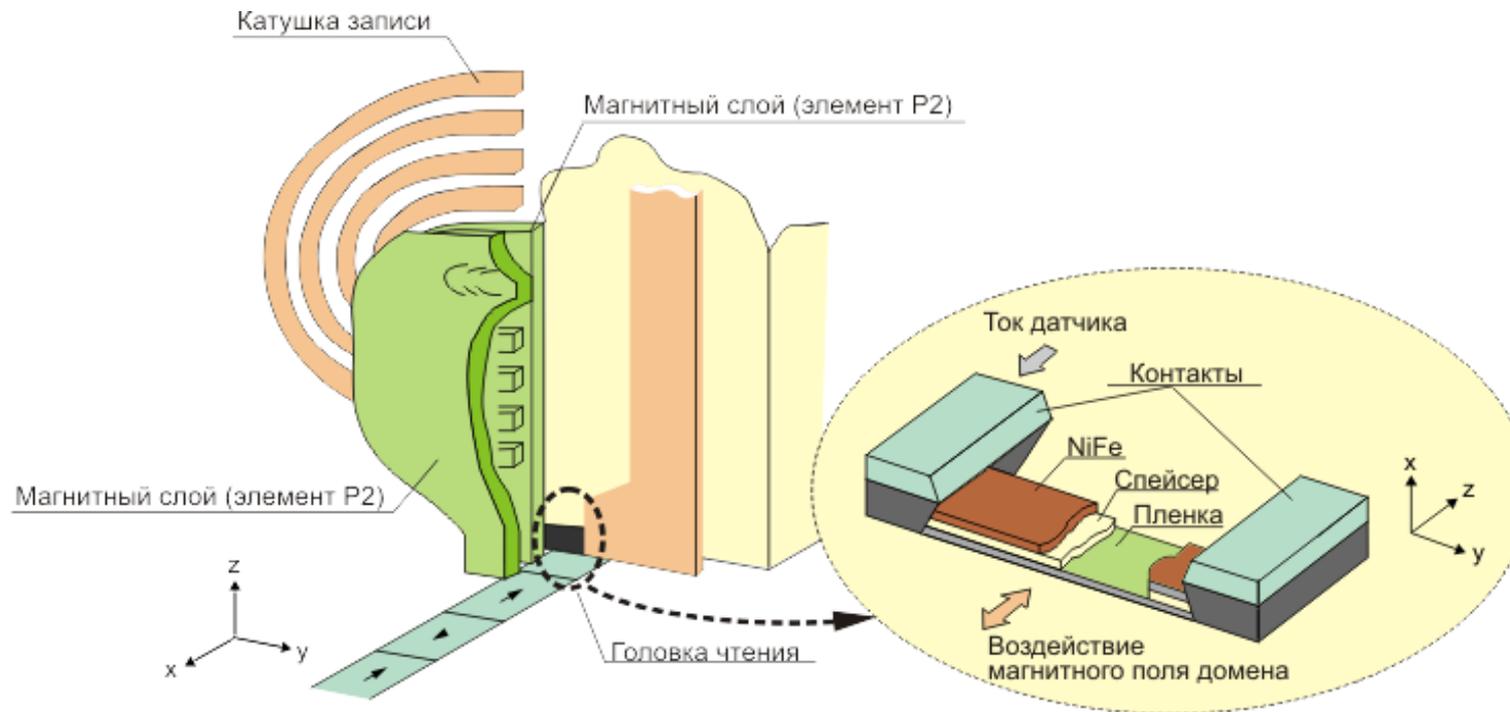
1997 г. - IBM - GMR головки установлены в жестком диске емкостью 16,8 Гбайт

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии чтения с магнитного диска

Устройство MR головки и ее положение относительно дорожек на диске

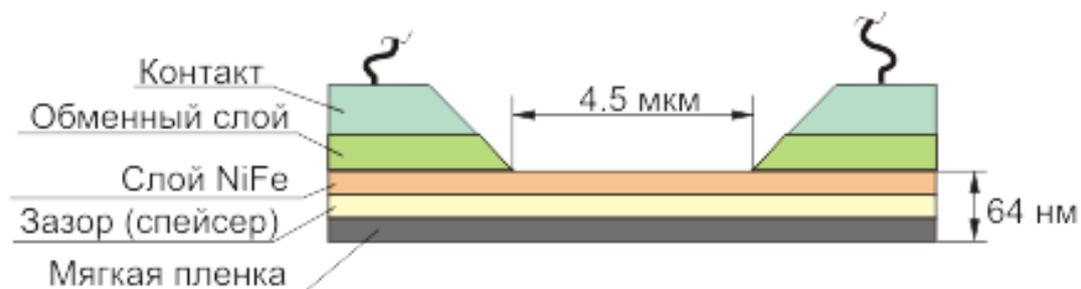


[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

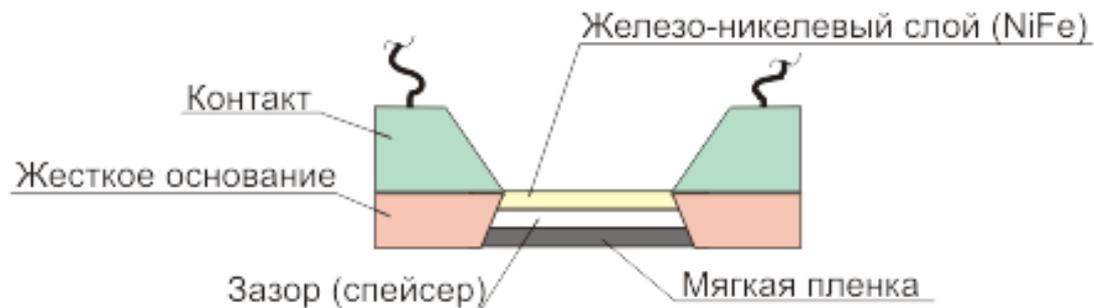
# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии чтения с магнитного диска



а) первое поколение MR-головок



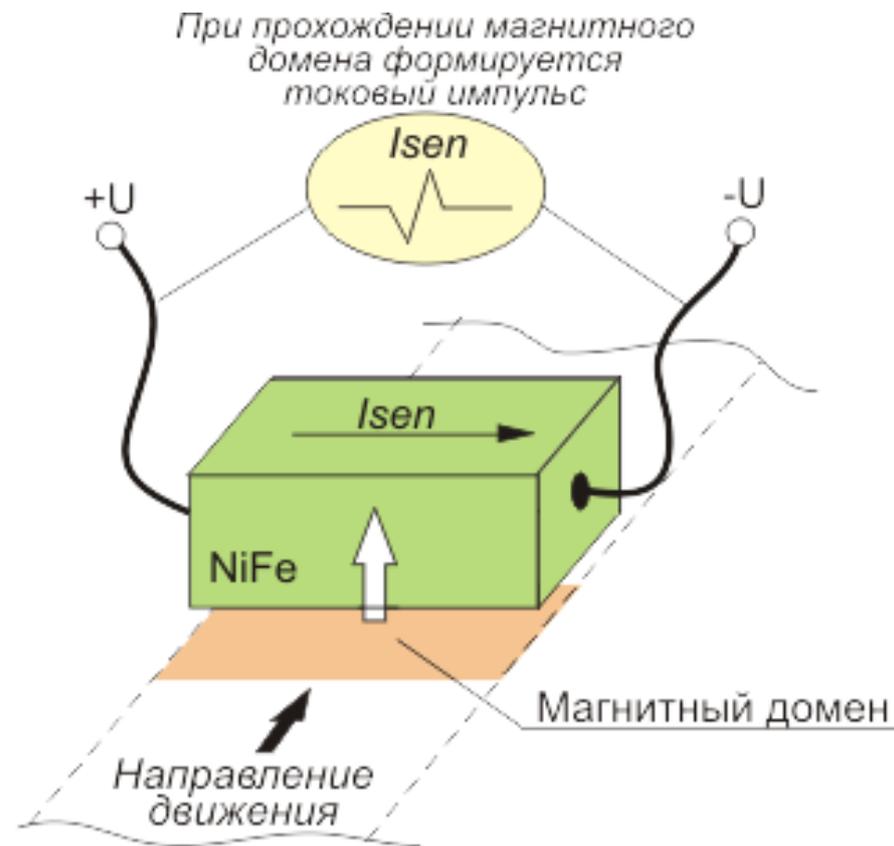
б) второе и третье поколение MR-головок

[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии чтения с магнитного диска



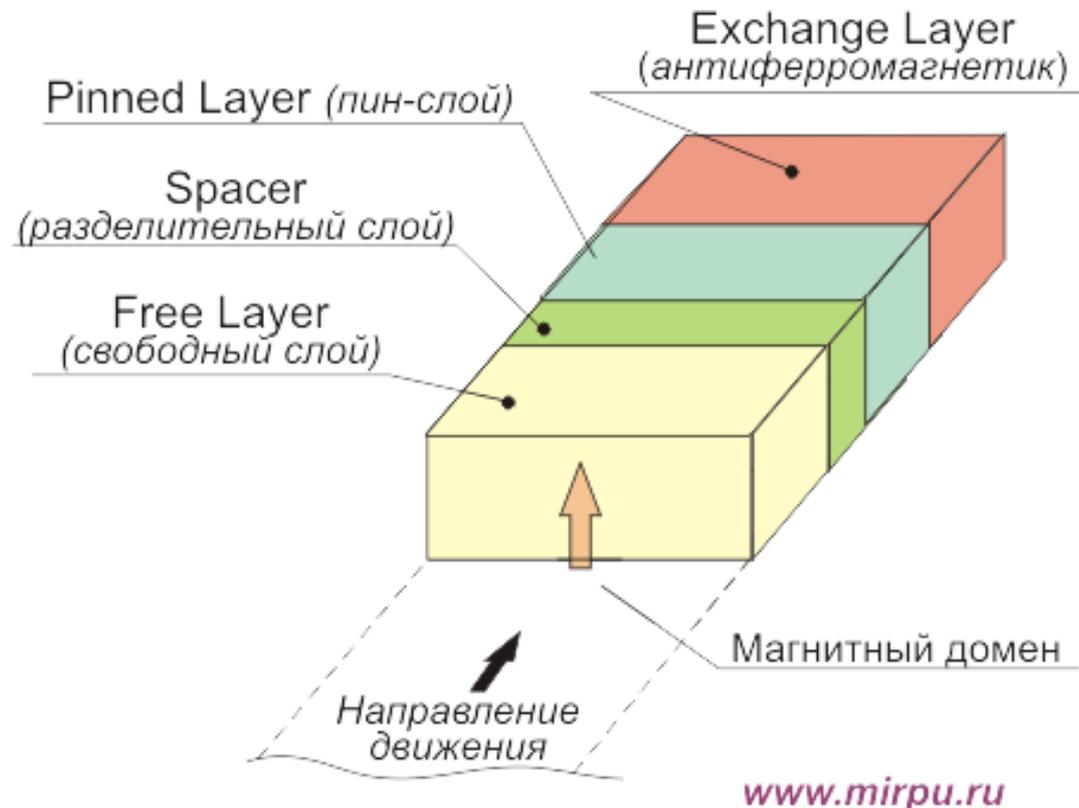
[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии чтения с магнитного диска

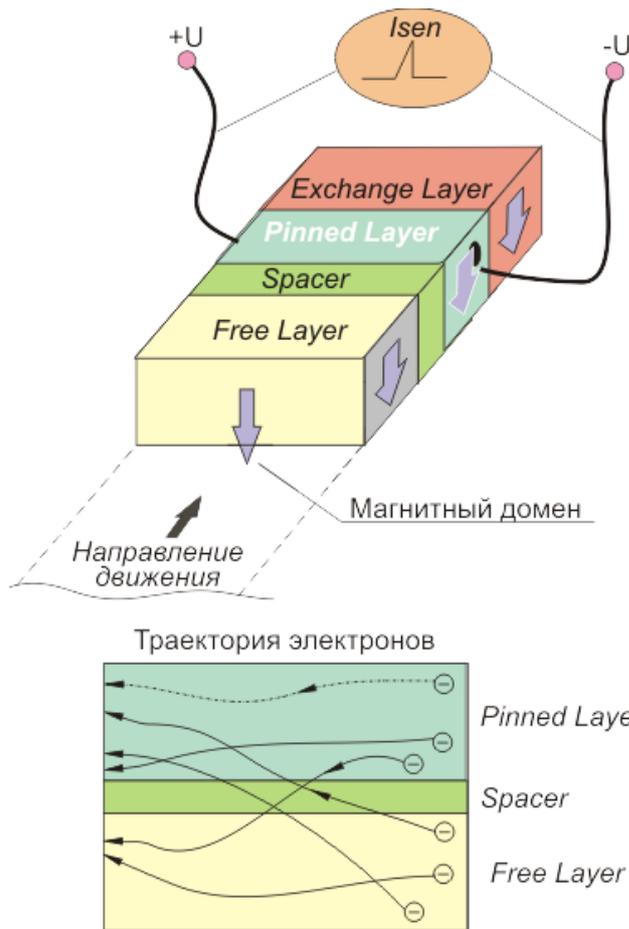
#### Классическая GMR-головка чтения



# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии чтения с магнитного диска



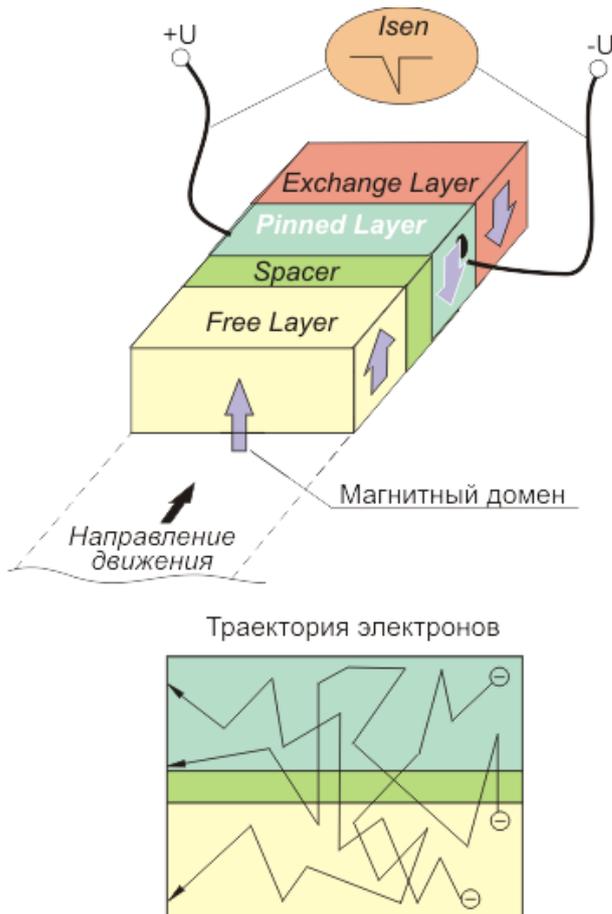
Когда под головкой «пролетает» домен с поляризацией «1», электроны свободного слоя приобретают тот же спин, что и электроны пин-слоя. Это приводит к значительному уменьшению сопротивления пин-слоя и увеличению тока MR головки, т.е. формируется «положительный» импульс тока

[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

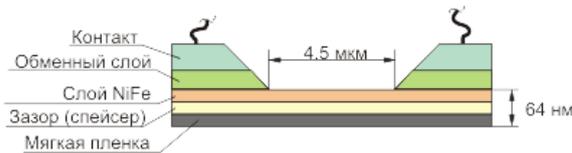
### Технологии чтения с магнитного диска



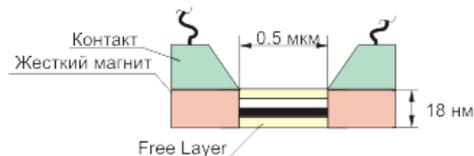
Когда под головкой «пролетает» домен с обратной магнитной поляризацией «0», электроны свободного слоя меняют свой спин на противоположный. Теперь электроны пин-слоя и свободного слоя имеют разное направление. Это приводит к резкому увеличению сопротивления пин-слоя, уменьшению тока GMR-головки и формированию «отрицательного» импульса тока

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

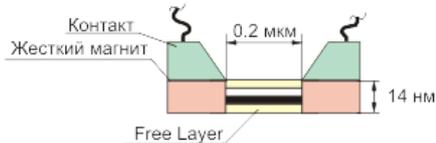
## Типы магнитных носителей и магнитных головок



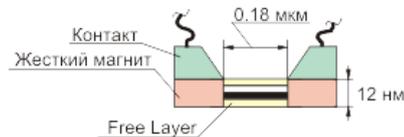
а) первое поколение MR-головок



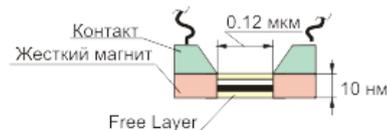
б) первое поколение GMR-головок (1997-1999г.)



в) второе поколение GMR-головок (1999-2001г.)



г) третье поколение GMR-головок (2001-2002г.)



д) четвертое поколение GMR-головок (2002-2004г.)

[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

## Технологии чтения с магнитного диска

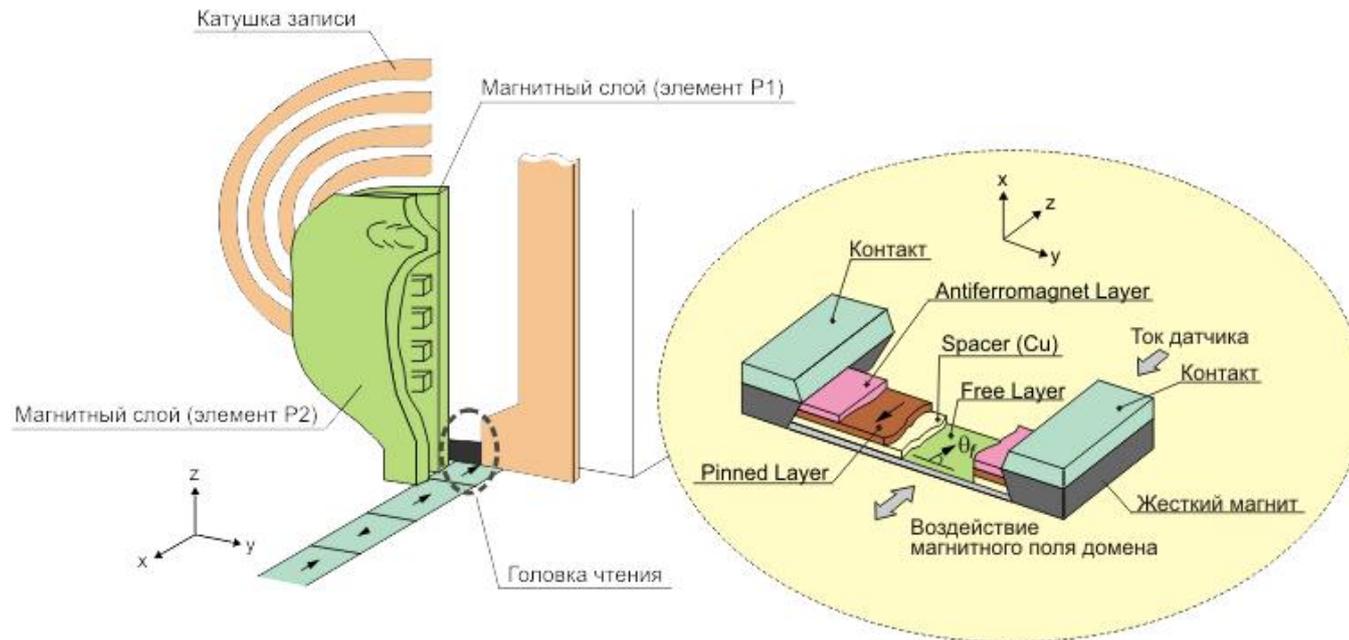
GMR-головки в несколько раз превосходят по своим параметрам MR-головки. Лучшие MR-головки меняют сопротивление при переходе от одной магнитной поляризации к другой на 2%, а GMR-головки - на 5-8%. Поэтому GMR-головки могут чувствовать значительно более слабые сигналы, что позволяет увеличивать поверхностную плотность записи.

GMR-головка значительно меньше размером, чем MR-головка. Соотношение размеров MR-головок первого поколения и GMR-головок четырех разных поколений показывает левый рисунок

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии чтения с магнитного диска

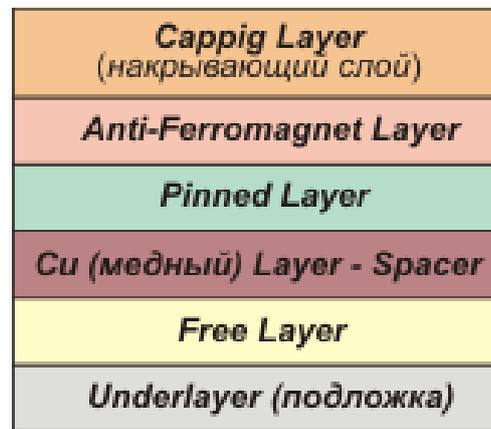


Расположение GMR-головки относительно магнитной дорожки и направление электронных спинов в слоях головки

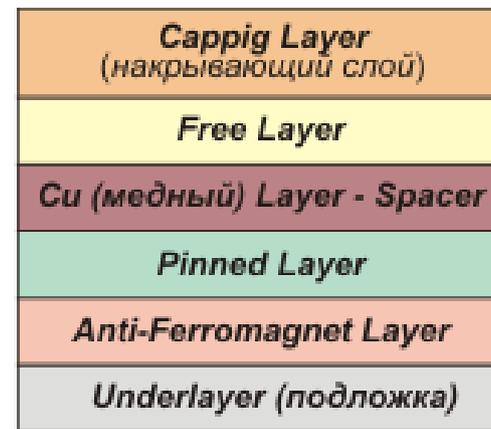
# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Top Type и Bottom Type GMR-головки



a) Top Type GMR



a) Bottom Type GMR

[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

Структура классической GMR-головки типа Top Type (используется в головках CIP GMR) и GMR-головки типа Bottom Type с синтетическим ферромагнетиком (используется в головках для перпендикулярной записи CPP GMR).

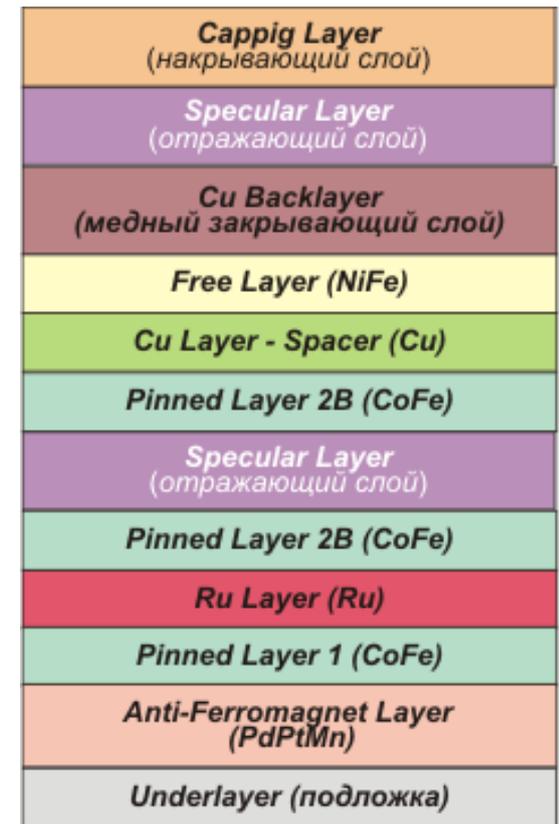
# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Зеркальные и двойные зеркальные GMR-головки



В структуру зеркальных и двойных зеркальных GMR-головок добавлены зеркальные слои (Specular Layers) из золота (Au), серебра (Ag) или оксида, расположенные между накрывающим и свободным слоем. За счет этого GMR головки имеют во много раз большую чувствительность



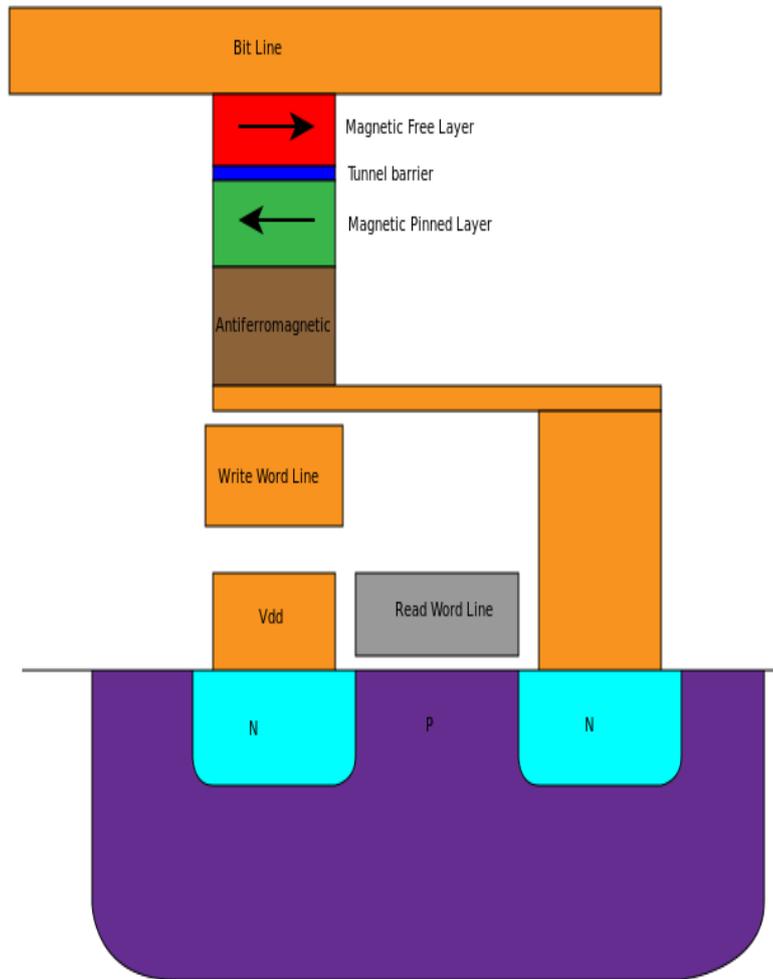
[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

[www.mirpu.ru](http://www.mirpu.ru)

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Магниторезистивный эффект и магнитная память

### MRAM



В магниторезистивной памяти (MRAM) информация хранится в магнитных элементах памяти. Эти элементы сформированы из двух ферромагнитных слоёв, разделенных диэлектриком. Один из слоёв - магнит, намагниченный в определённом направлении, а намагниченность другого - меняется под действием внешнего поля. MRAM организована по принципу сетки, состоящей из «ячеек», содержащих элемент памяти и соответствующий ему транзистор.

Считывание информации осуществляется измерением сопротивления. Выбор ячейки проводится подачей напряжения питания на соответствующий транзистор.

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

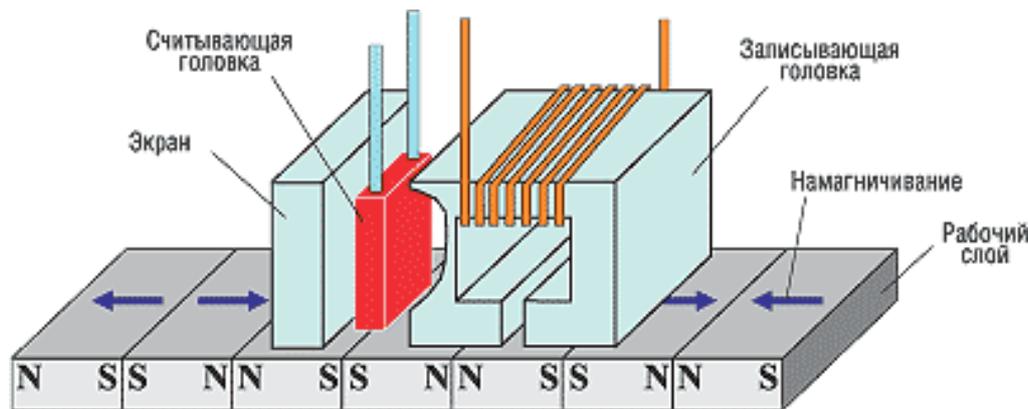
### Технологии записи на магнитный диск

Год	Ширина дорожки, нм	Длина бита, нм	Плотность записи, Гбит/кв.дюйм
1994	4800	270	0,5
1996	2900	170	1,3
1998	1300	94	5
2000	620	52	20
2002	250	30	80
2005	64	10	1000

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии записи на магнитный диск



### Продольная магнитная запись

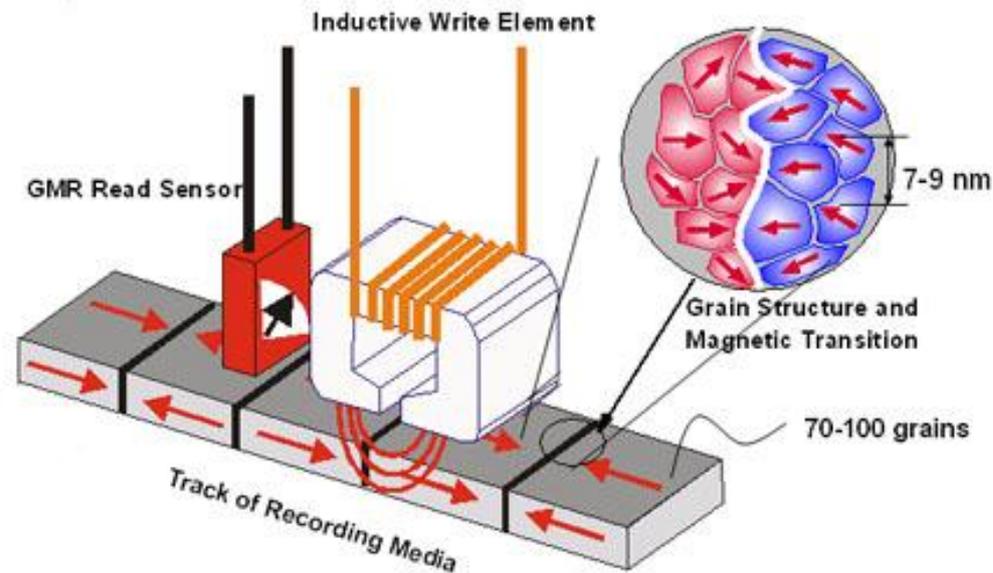
В начале 70-х годов прошлого века считалось, что предел плотности магнитной записи ~ 10 Мбит на 1 кв.дюйм.

Для современной технологии продольной записи предельная плотность записи составляет 100-200 Гбит/кв.дюйм

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии записи на магнитный диск



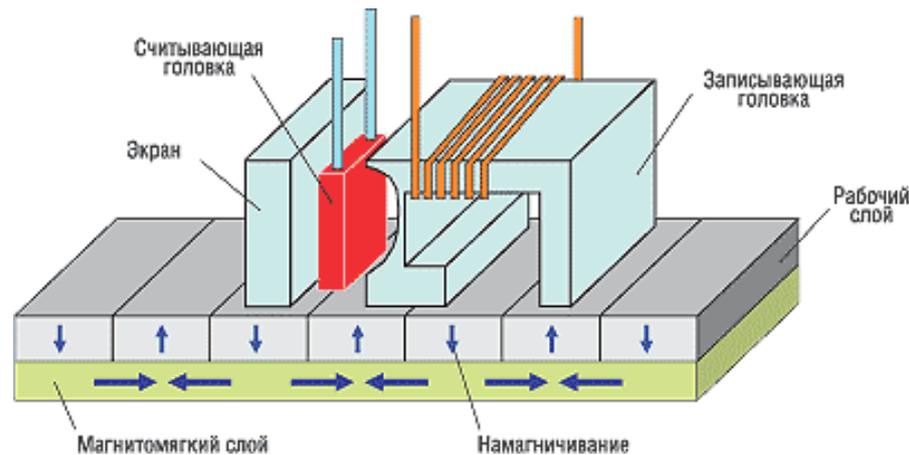
### Продольная магнитная запись

Информация хранится на частицах, состоящих из 70 - 100 доменов. Если соседние области имеют противоположное направление моментов, часть доменов на границе может потерять стабильность и произвольно менять направление магнитного момента.

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии записи на магнитный диск



С 2003 года применяется технология перпендикулярной записи

### Seagate:

плотность записи

1 Тбит/кв.дюйм (1 Тбайт на трехдюймовый диск)

плотность дорожек

500 тыс./дюйм

линейная плотность

$2 \cdot 10^6$  бит/дюйм

На срезе бумажного листа А4 помещаются 2 тыс. дорожек или 8 тыс. бит данных

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

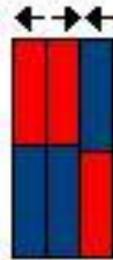
## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии записи на магнитный диск

Взаимодействие частиц при параллельной записи



Взаимодействие частиц при перпендикулярной записи



Ориентация магнитных диполей при продольной и перпендикулярной записи

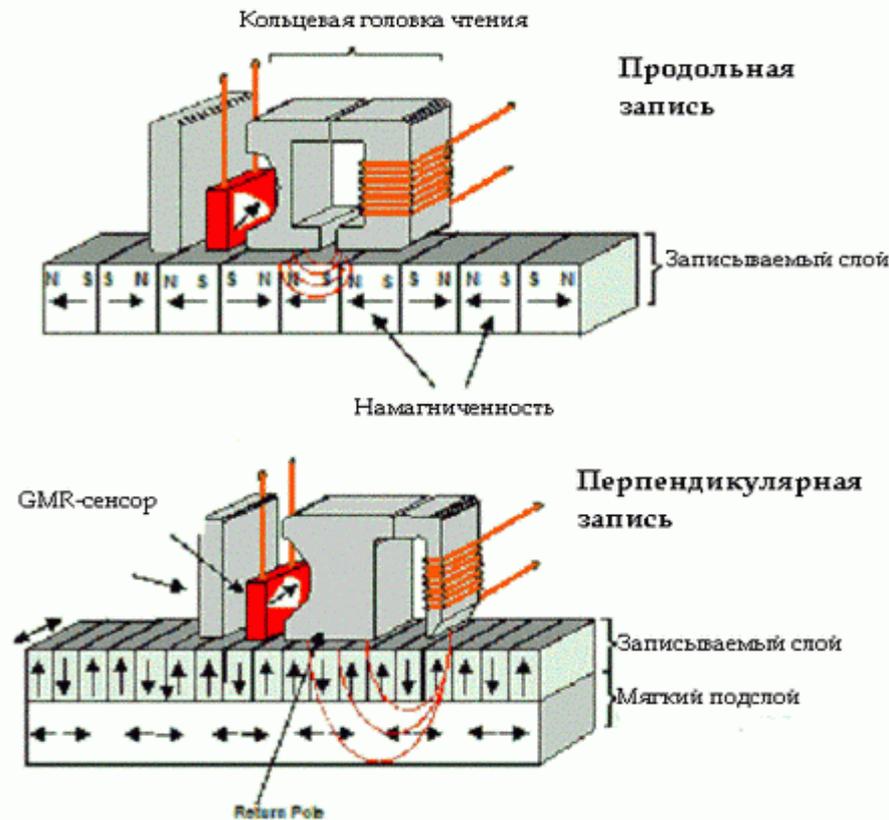
При перпендикулярной записи магнитные диполи расположены под углом  $90^\circ$  к плоскости диска. Поэтому диполи, хранящие разные значения, не отталкиваются друг от друга (намагниченные частицы повернуты друг к другу разными полюсами).

Рост плотности записи (уменьшение размера частиц) не требует уменьшения толщины слоя, что обеспечивает высокую стабильность магнитного материала

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии записи на магнитный диск

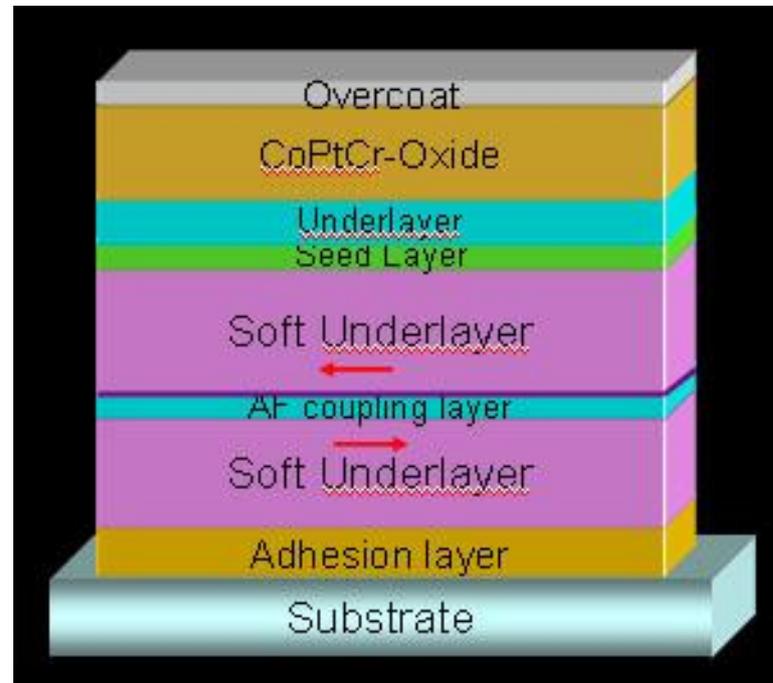


Распределения полей при продольной и перпендикулярной записи

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии записи на магнитный диск



Состав магнитного слоя при перпендикулярной записи

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Типы магнитных носителей и магнитных головок

### Технологии записи на магнитный диск

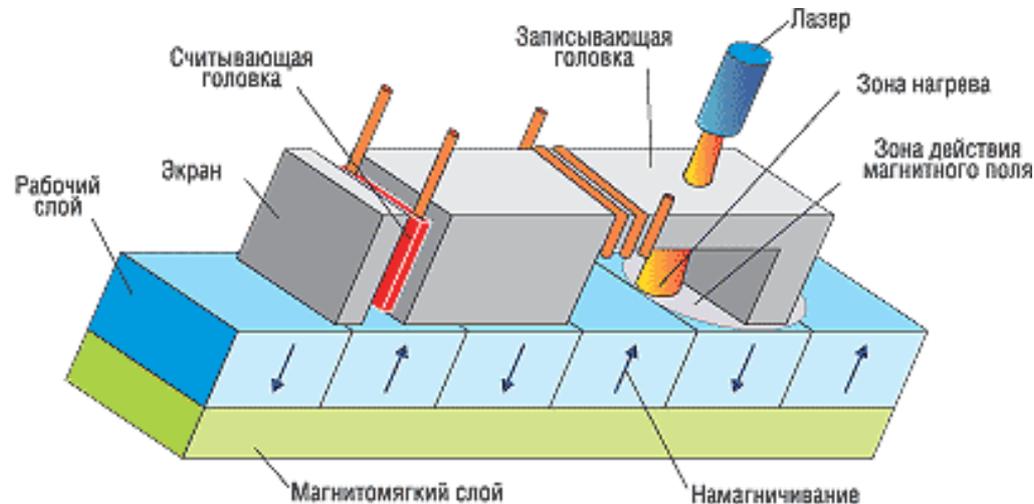


При перпендикулярной записи головка летит над поверхностью носителя на высоте  $\sim 10$  нм на скоростях  $\sim$  нескольких сот км/час за счет динамической воздушной подушки (экраноплан)

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Будущее и перспективы магнитной записи

### Технологии записи на магнитный диск

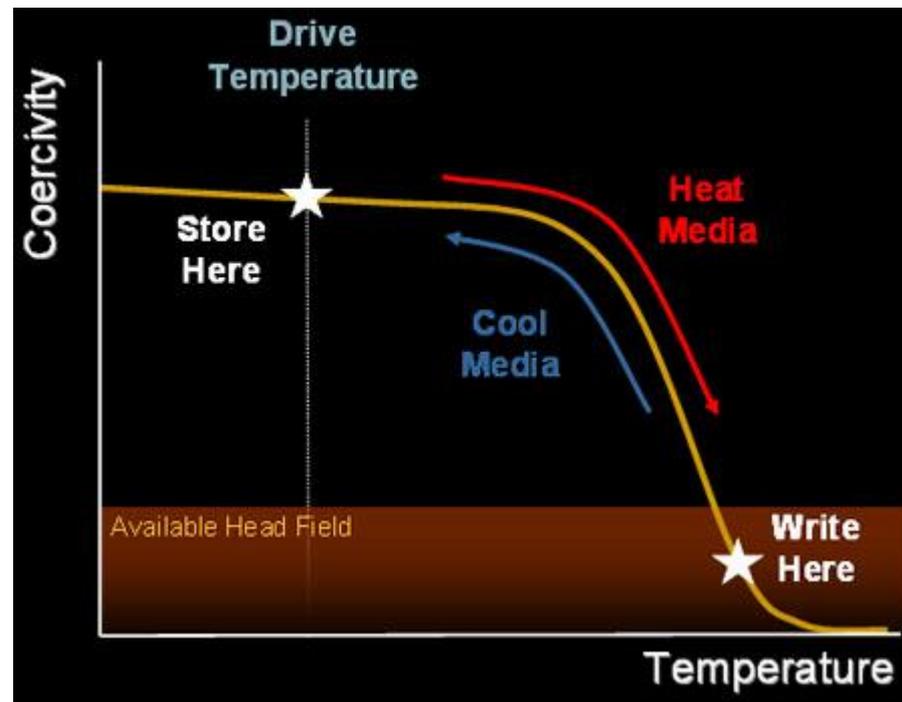


Термомагнитная запись (HAMR - Heat Assisted Magnetic Recording)

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Будущее и перспективы магнитной записи

### Технологии записи на магнитный диск

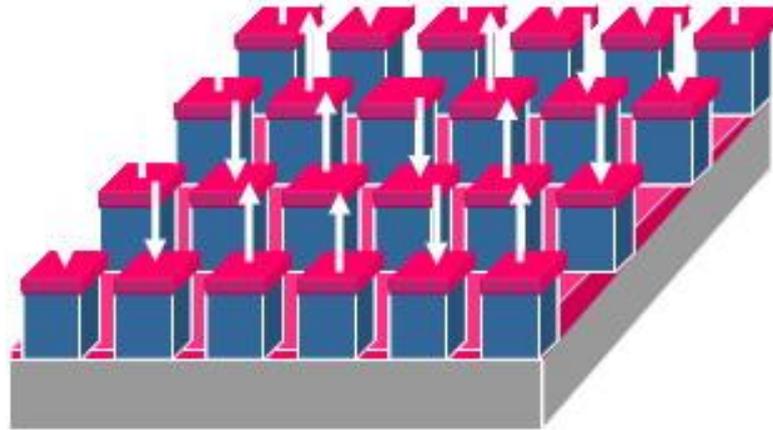


Термомагнитная запись (HAMR - Heat Assisted Magnetic Recording)

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Будущее и перспективы магнитной записи

### Технологии записи на магнитный диск

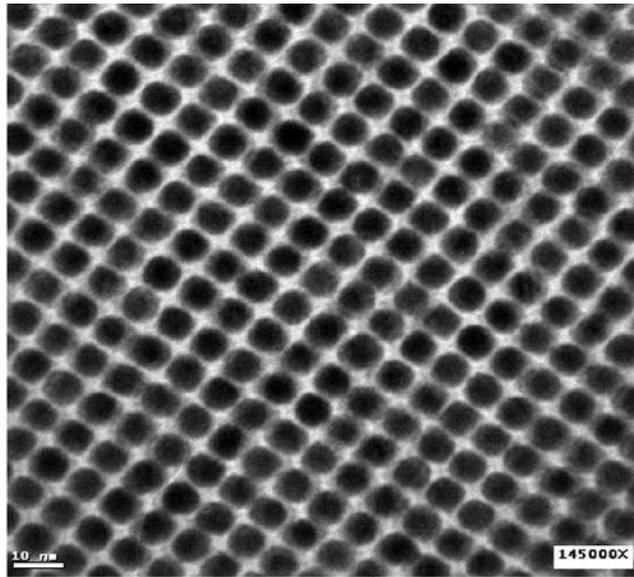


Для создания материала, обеспечивающего максимальную (1 домен = 1 бит) плотность записи 1 Тбит/кв.дюйм, размер частицы должен составлять ~ 12,5 нм. Существующие сегодня и планируемые на ближайшие 10 лет технологии литографии этого не обеспечивают

# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## Будущее и перспективы магнитной записи

### Технологии записи на магнитный диск



Самоорганизующиеся магнитные решетки (SOMA - Self-Ordered Magnetic Arrays )

Плотность записи в массиве

9 Тбит/кв.дюйм

Диаметр зерен

< 7 нм

Число зерен на бит

100

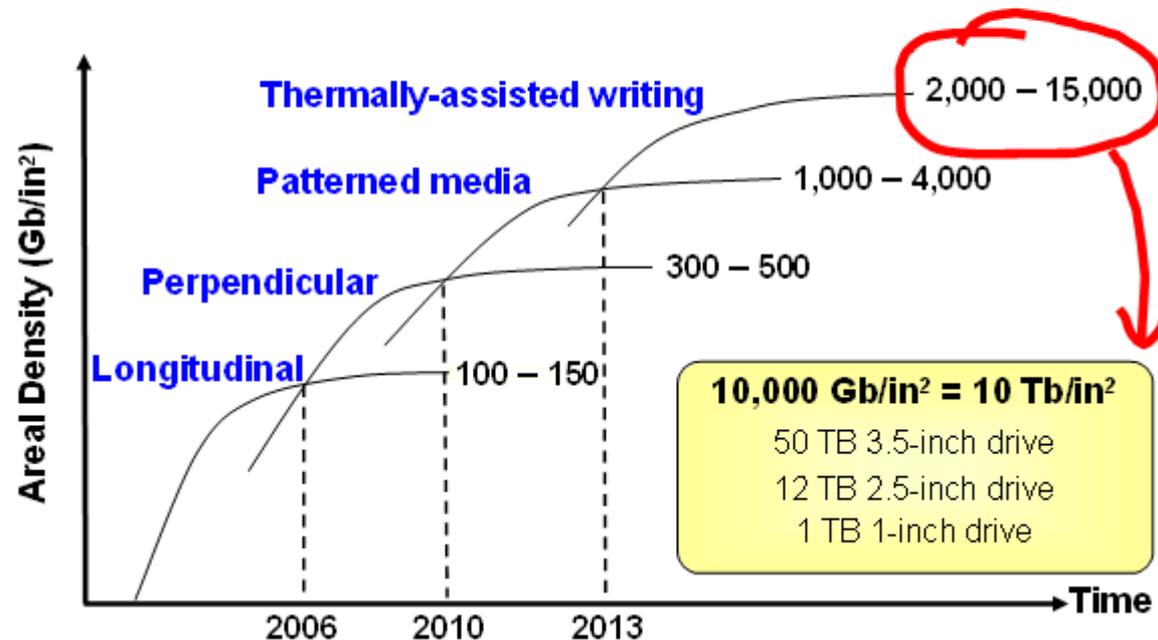
# Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

## 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.



Считается, что сочетание технологий SOMA и HAMR позволит достичь плотности записи вплоть до 10-15 Тбит/кв.дюйм

# 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