

Лекция №13.

Тема: Классификация магнитных материалов и их применение в микро- и наноэлектронике

- *1. Классификация магнитных материалов*
- *2. Магнитные материалы в микро- и наноэлектронике*

Классификация магнитных материалов

1 H	ферромагнетик антиферромагнетик парамагнетик диамагнетик																2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac															
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	

Общая классификация магнитных материалов

- *1. Магнитомягкие материалы;*
- *2. Магнитотвердые материалы*
- *3. Материалы специального назначения.*
- *4. Материалы для микро- и наноэлектроники*

Магнитомягкие материалы

- -легко намагничиваются и размагничиваются почти без потерь;
- - имеют высокую индукцию насыщения;
- - малые потери при работе в переменных полях;
- - низкая стоимость.

-технически чистое железо;

- листовая электротехническая сталь;

- железо-никелевые сплавы (пермаллои);

-альсиферы – сплавы Fe-Si-Al;

-ферриты (оксиферы) $\text{MeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$;

**никель-цинковые и марганец-цинковые
ферриты**

- $n\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + m\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + p\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
- $n\text{MnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + m\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + p\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

-ферриты СВЧ;

феррогранаты иттрия

-магнитодиэлектрики.

Ферриты

- По свойствам и применению ферриты делятся на:
 - магнитомягкие ферриты
(НЧ – $0,2 \div 20$ МГц и ВЧ – $20 \div 300$ МГц);
 - ферриты СВЧ ($3 \times 10^7 - 3 \times 10^{11}$);
 - ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ);
 - магнитотвердые ферриты.

Магнитотвердые материалы

1. Литые магнитотвердые сплавы – *альни*
(Al-Ni-Fe)
2. Порошковые магнитные материалы
(металлокерамические и металлопластич-ные)
3. Магнитотвердые ферриты
Бариевый феррит $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ (феррооксидюр)

Материалы специального назначения

1. *Металлические сплавы с ППГ*

-ферриты;

-текстурированные ферромагнитные сплавы

-тонкие ферромагнитные пленки

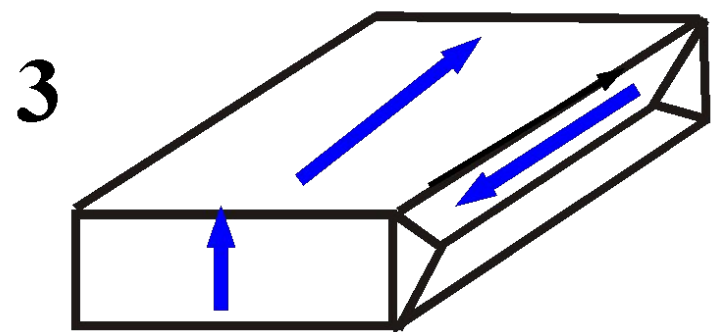
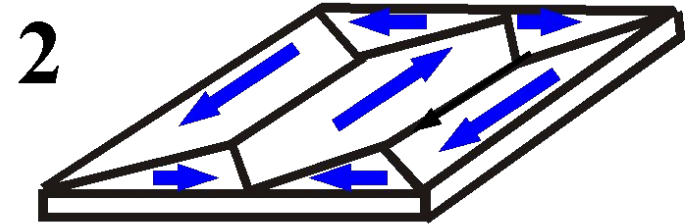
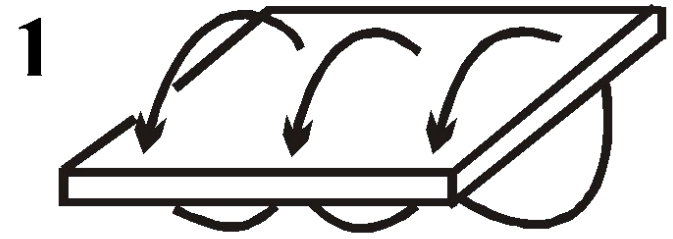
2. *Магнитострикционные материалы*

сплавы Pt(50)-Fe(46); Co(50)-Fe(50); Fe-Al(13)

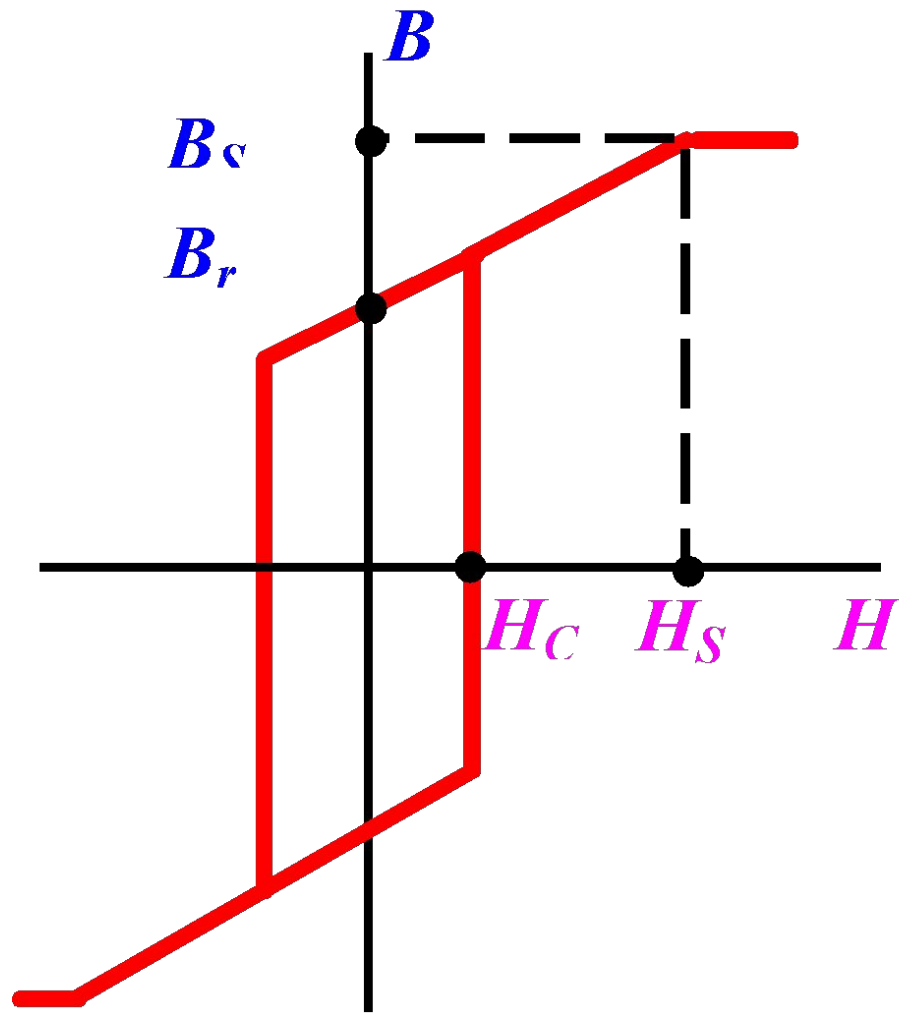
3. *Термомагнитные материалы*

сплавы на основе Ni-Cu, Fe-Ni, Fe-Ni-Cr

С увеличением толщины пленки энергетически выгодным является переход от структуры 1 к структуре 2 и от структуры 2 к структуре 3.



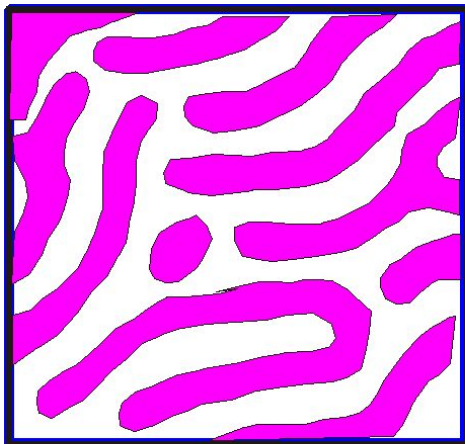
Закритическая петля гистерезиса



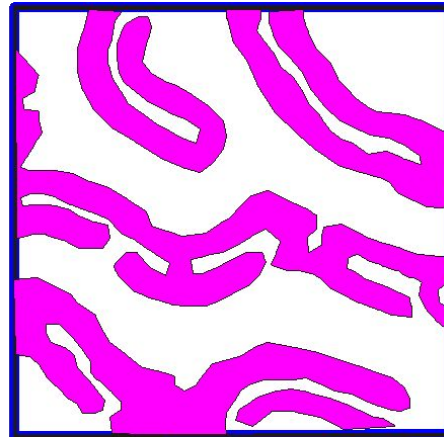
Магнитные материалы в микроэлектронике

- 1) тонкие пленки с полосовыми магнитными доменами;*
- 2) тонкие пленки с цилиндрическими магнитными доменами (ЦМД).*

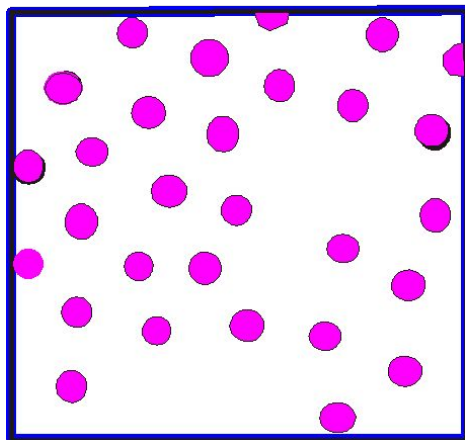
*Тонкие пленки с цилиндрическими
магнитными доменами.*



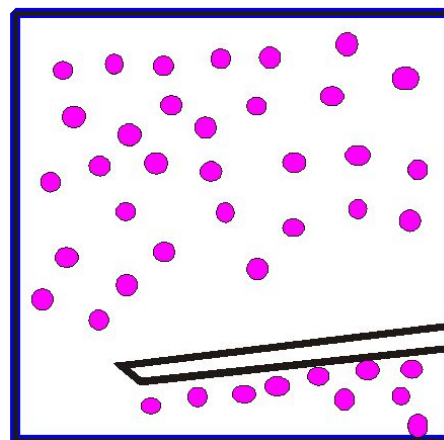
а



б



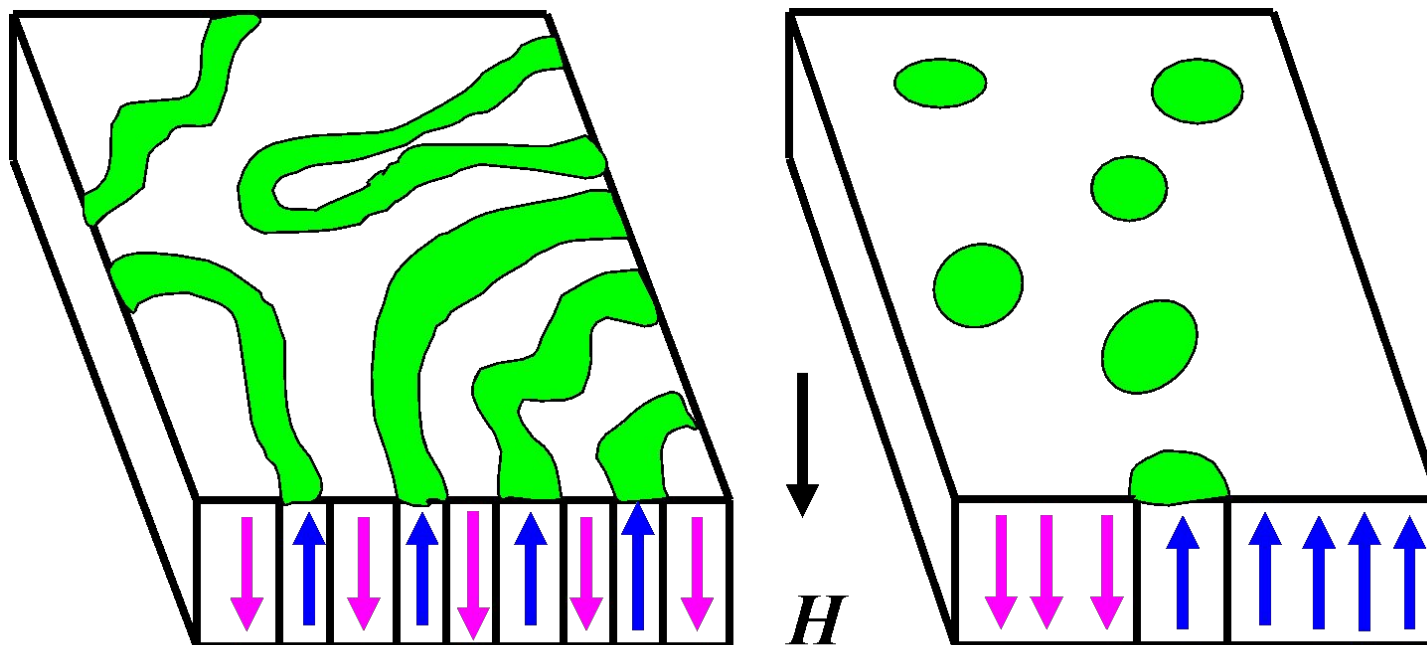
в



г

- Доменная структура в тонкой пластинке ортоферрита:
- *лабиринтная структура* ($H_{BH}=0$) **(а)**;
- *переходная структура от лабиринтной к ЦДМ* (H_{BH} мало) **(б)**;
- *структура ЦДМ* (достаточно сильное H_{BH}) **(в)**;
- *концентрация ЦДМ* около очень тонкой ферромагнитной проволоки **(г)**

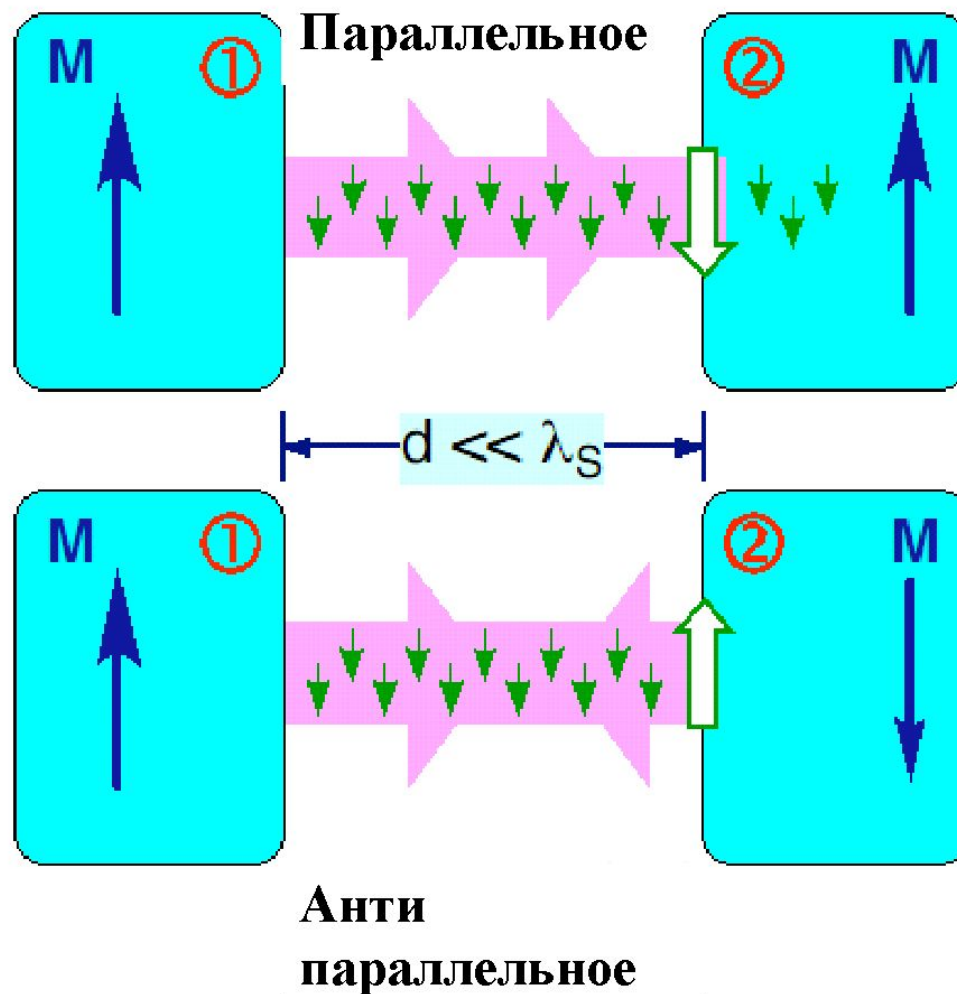
Лабиринтная структура доменов: поведение магнитных доменов при воздействии поля и преобразование в цилиндрические магнитные домены



Сравнительная оценка ЗУ на основе различных материалов

- *потребление электроэнергии:*
 - – обычные магниты: 500 – 1000 Вт
 - – полупроводниковые материалы: 1000 – 2000 Вт
 - – ЦМД: 10 – 20 Вт
- *рабочая температура (°C):*
 - –20 ... +65 – для обычных и полупроводниковых материалов;
 - –100 ... +100 – для ЦМД.

Гигантское магнитосопротивление



Спинтроника

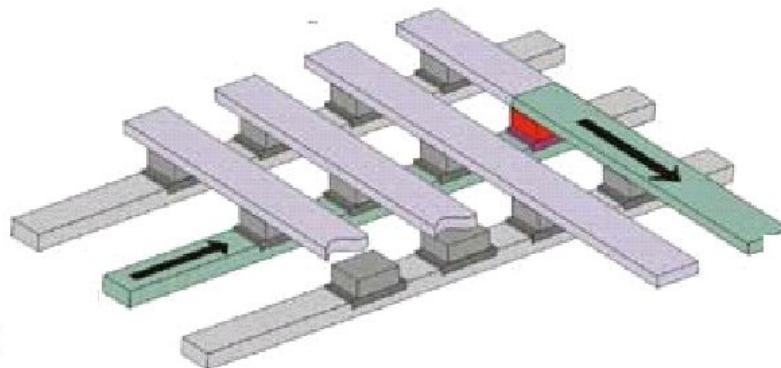
- *Спинтроника* (spintronics) — это область квантовой электроники, в которой для физического представления информации наряду с зарядом используется спин частиц, связанный с наличием у них собственного механического момента.

Намагниченность жесткого материала **зафиксирована**, а магнитомягкого материала — **может меняться в зависимости от внешнего поля**. Если намагниченности в такой системе **антипараллельны**, то **сопротивление резко возрастает**.



Архитектура магнитного ЗУ

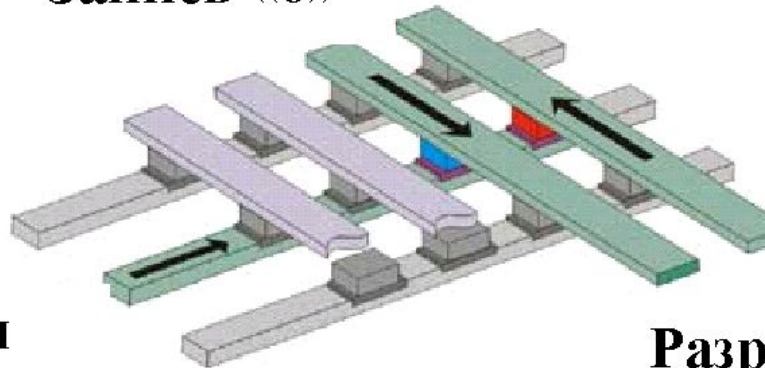
Считывание бита



Словарная
шина

Разрядная
шина

Запись «0» Запись «1»



Словарная
шина

Разрядная
шина

Разрядная
шина

Основные явления:

- гигантское магнитное сопротивление
- туннельное магнитное сопротивление
- спиновая инжекция
- магнитные полупроводники
- перенос спина

Основные приборы

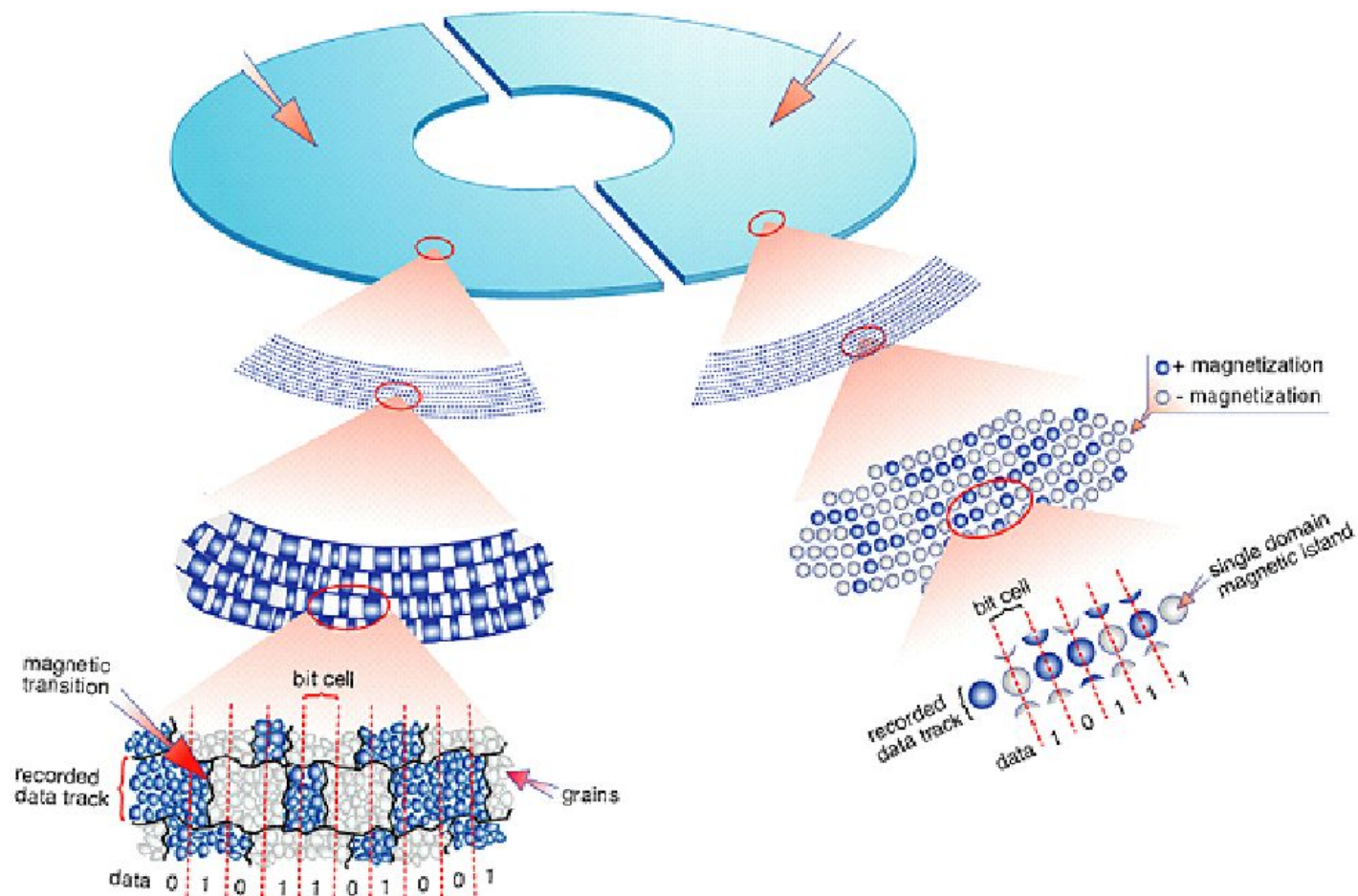
- головки записи, сенсоры
- магнитная память — уже есть
- спиновые полевые транзисторы, спиновые светодиоды
- магнитная логика
- квантовые вычисления

Основные направления разработки спинтронных приборов

- Спиновый инжектор
- Приборы, основанные на спиновом транспорте
- Спиновые транзисторы
- Магнитная память
- Считывающие головки для жестких дисков
- Датчики магнитного поля

Традиционная
многозеренная
среда

Структурированная
магнитная среда



Структура слоев диска Blu-ray

