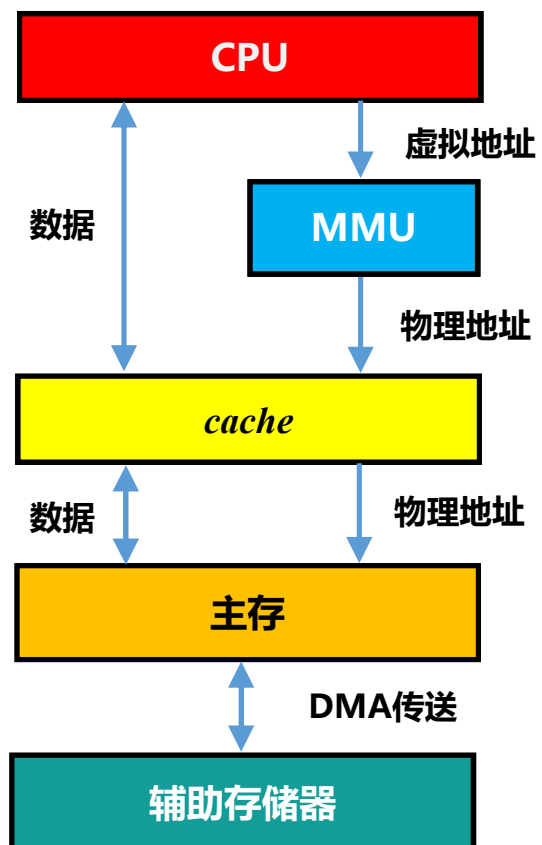


层次性结构



为什么cache用物理地址访问?

理解虚拟存储器

- **编程阶段**：程序员在比实际主存大得多的逻辑地址空间中编程
- **执行阶段**：程序执行时，按需载入代码和数据，无需全部载入
- **实现**：虚存机制由硬件与操作系统协作实现
- 硬件将逻辑地址（虚拟地址）转化为物理地址（实地址）
- 缺页时，由OS进行主存和磁盘之间的信息交换
 - 进程及进程上下文切换、存储器分配
 - 虚拟地址空间管理、缺页处理
 - 存储器保护

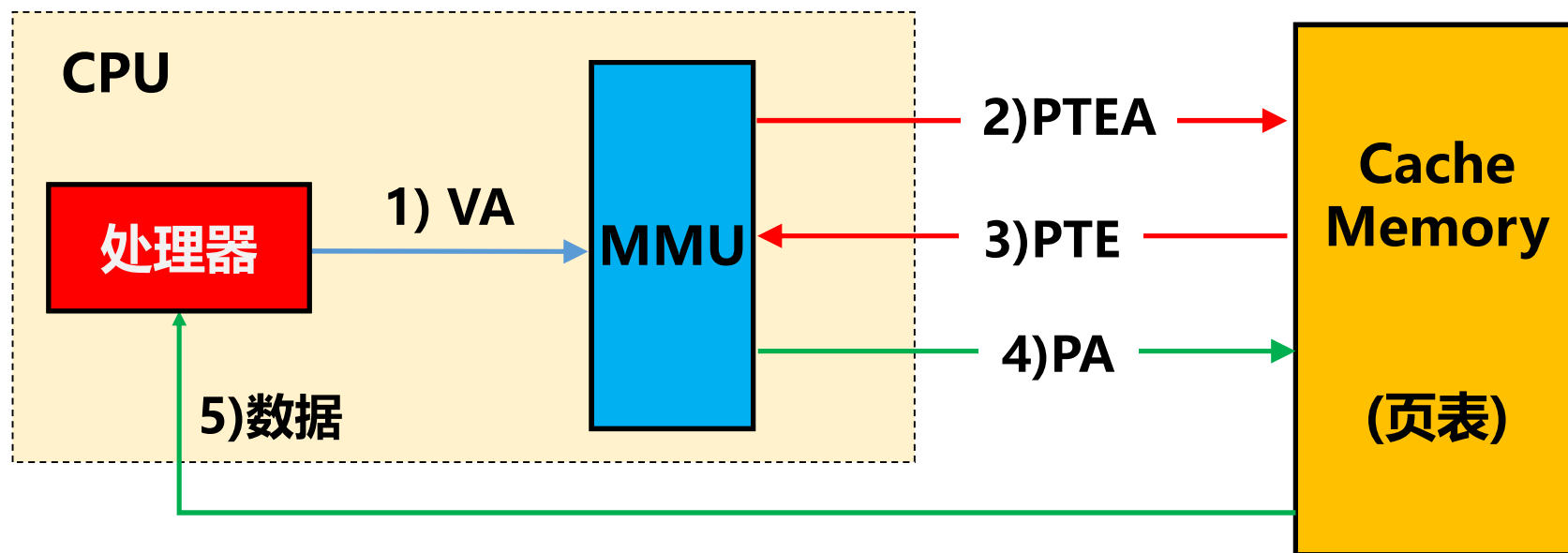
|| 与CPU cache的相似之处

- 将程序中常用的部分驻留在高速存储器
 - 程序载入按需载入（不是全部载入）
 - 高速存储器分块或者分页（粒度问题）
 - 主存空间满，将不常用程序或数据淘汰或交换到辅存中
- 数据的换入换出由硬件或操作系统完成，对用户透明
- 利用程序局部性，使存储系统的性能接近于高速存储器；价格接近于低速存储器，并扩充主存容量

|| 与CPU cache的差异

- 虚存用于扩大主存容量，Cache用于加速主存性能
- 虚存中未命中性能损失远大于Cache系统
- 虚存由硬件和OS联合管理，Cache由硬件管理

虚拟地址→物理地址 (页命中)



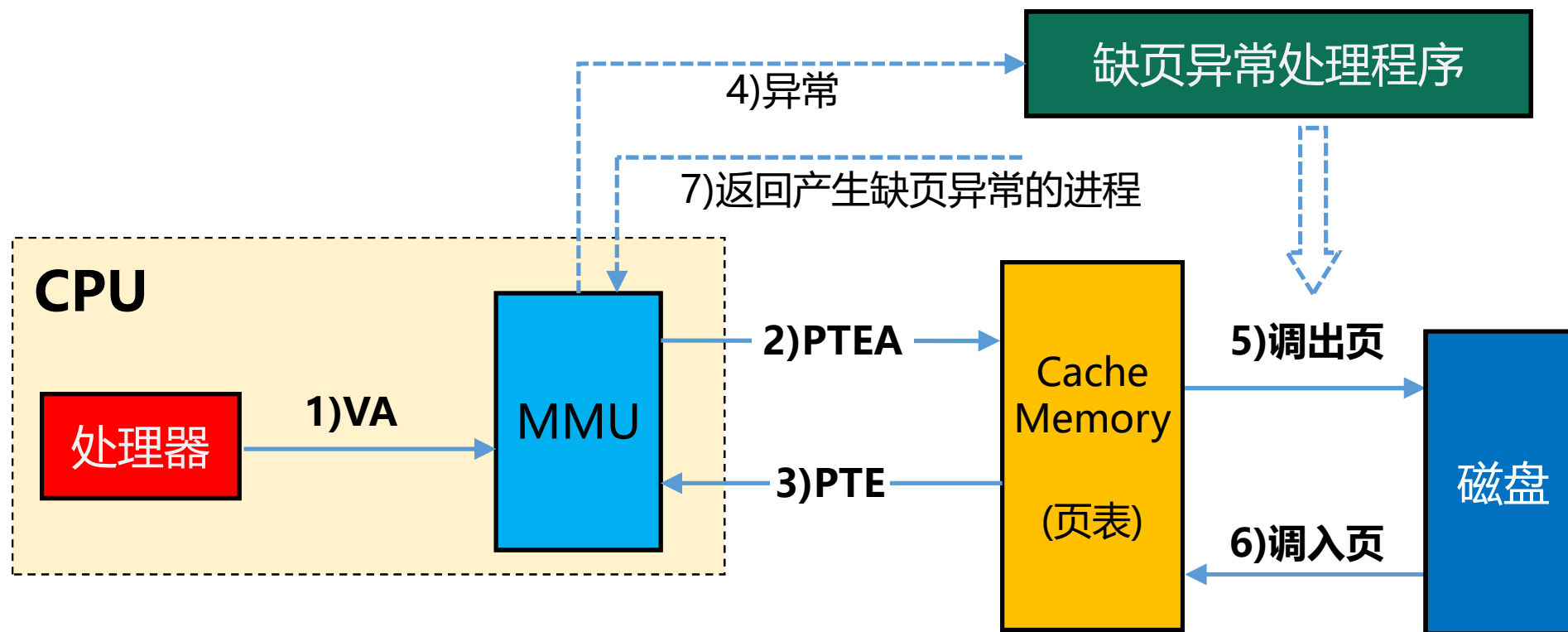
VA: 虚拟地址

PTEA: 页表项地址 (由PTBR+虚页号生成)

PTE: 页表项 (含有效位和物理页号PPN), 有效位为1

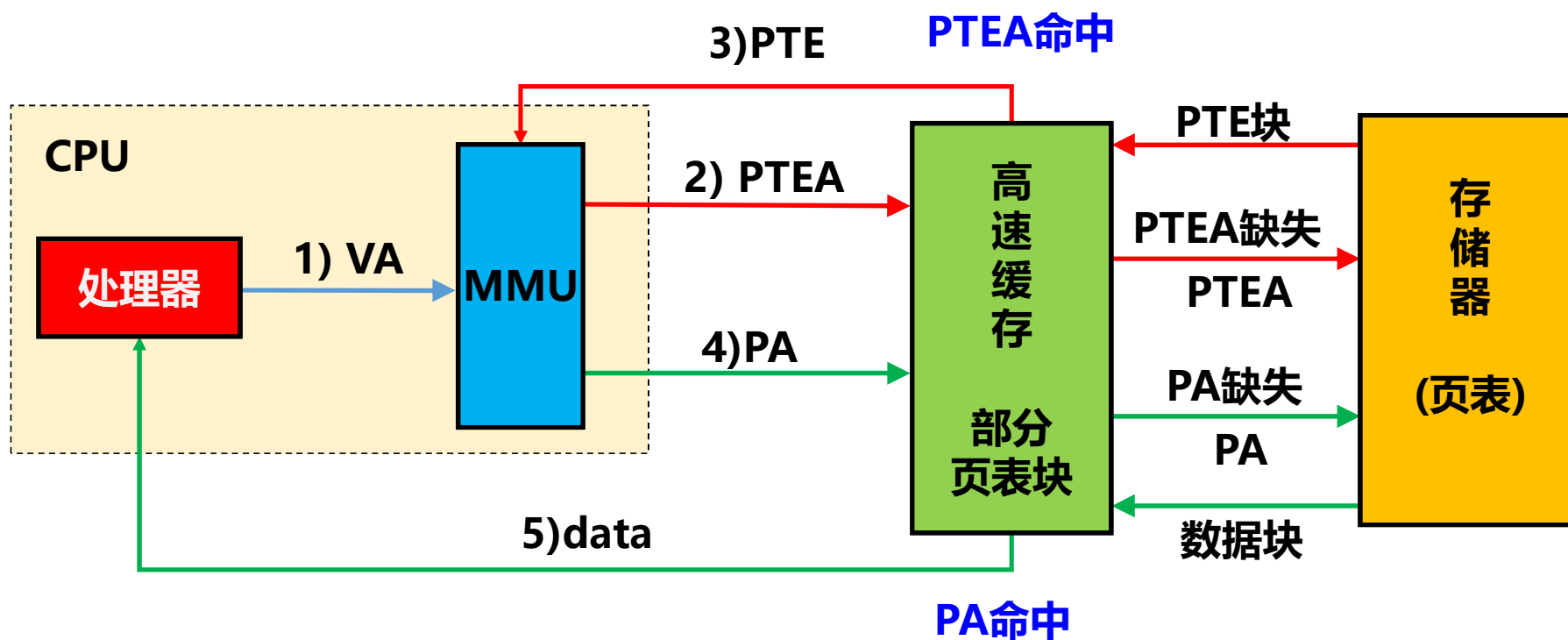
PA: 物理地址

虚拟地址→物理地址（缺页）



PTE: 页表项（含有效位和物理页号PPN），有效位为0

虚存, cache, 主存层次



最好情况: 访问两次cache

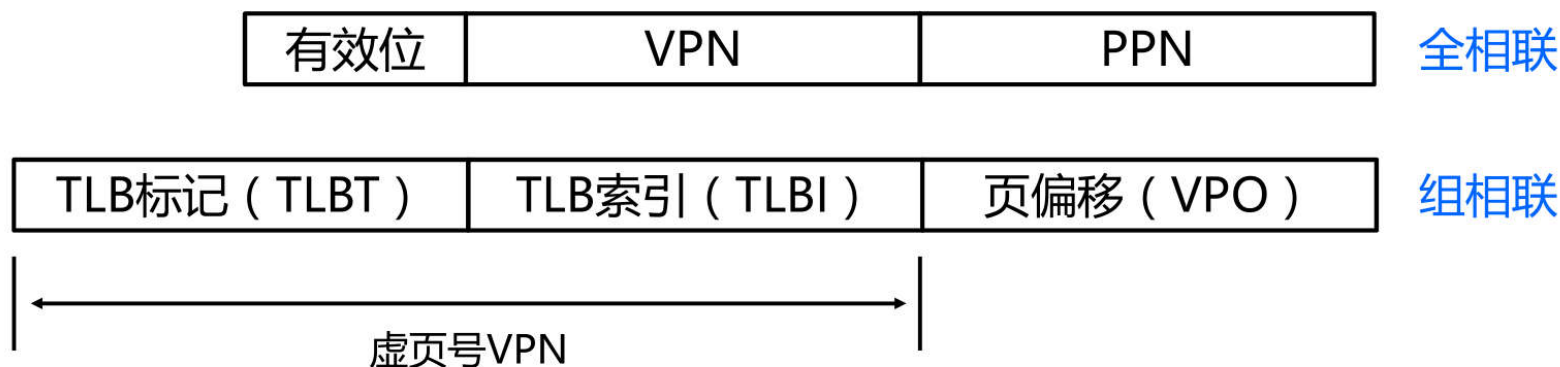
较坏情况: 访问两次主存

最坏情况: 缺页, 访问多次主存, 且需访问外存

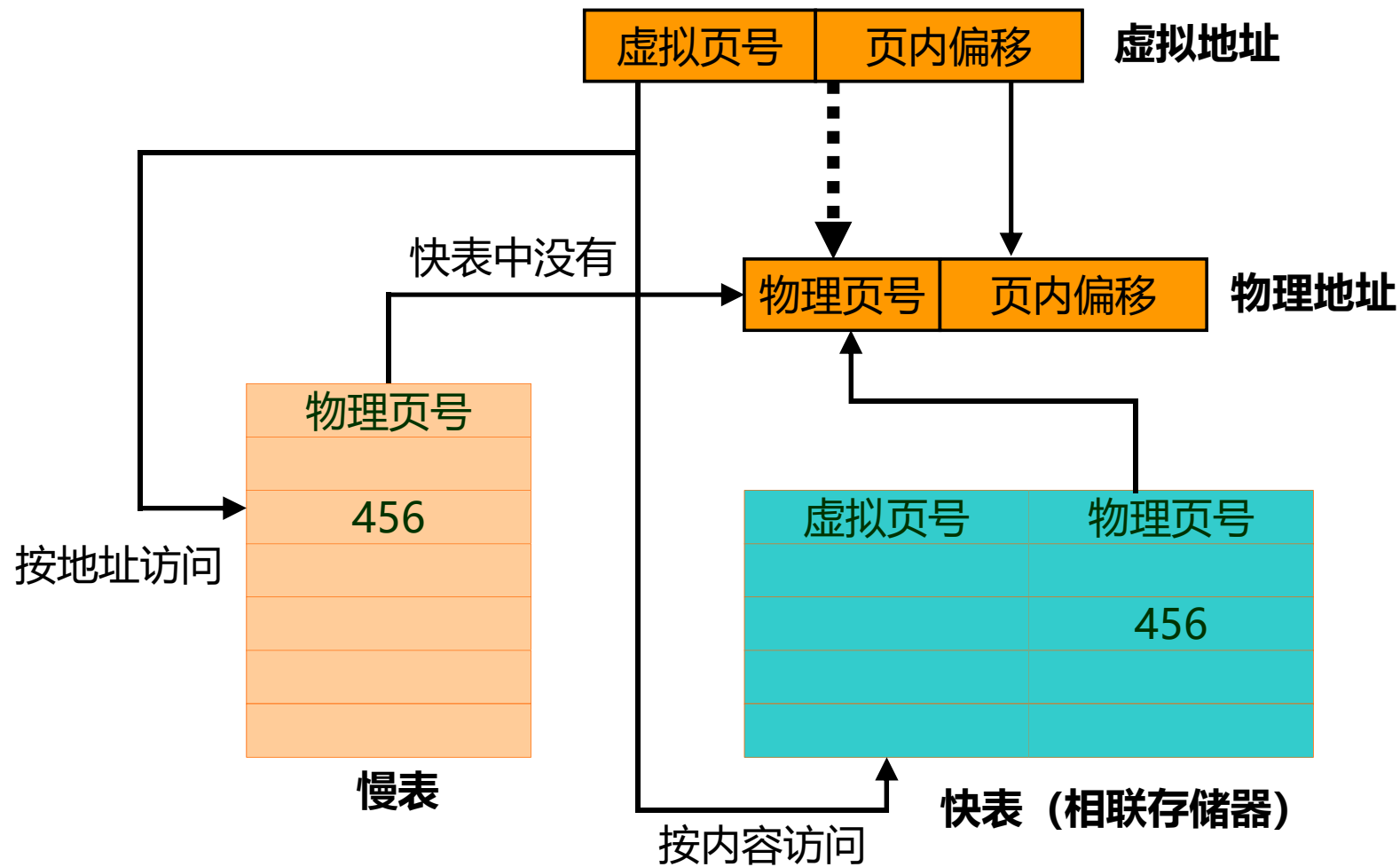
TLB加速虚拟存储器地址转换

- TLB (Translation Lookaside Buffer) : 转换旁路缓冲器, 小容量 cache, 存放页表中经常被访问的表项PTE, 也称为**快表**。
- 快表采用全相联或组相联映射机制, 随机替换策略, 转换速度快。

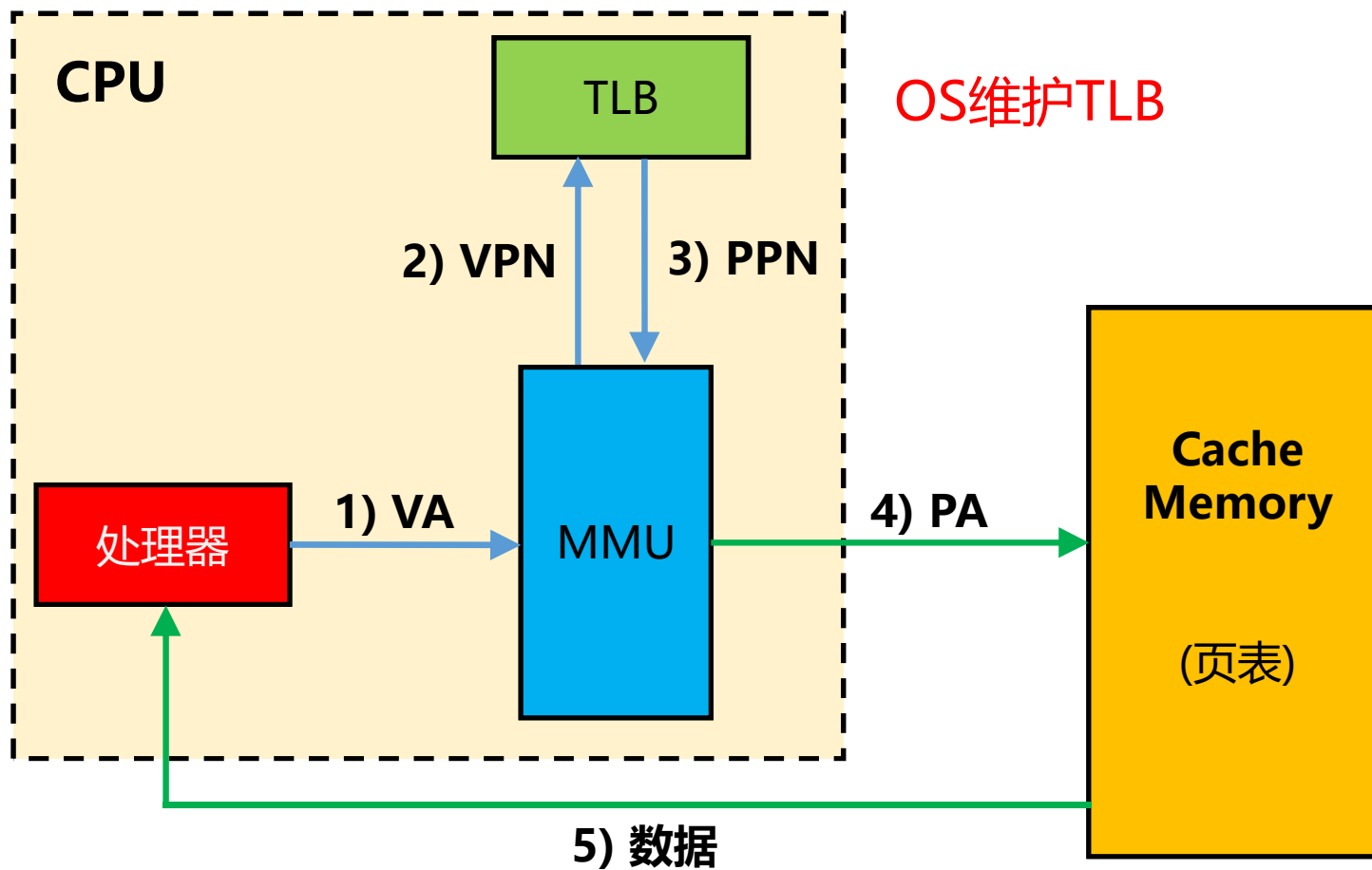
TLB项的组成



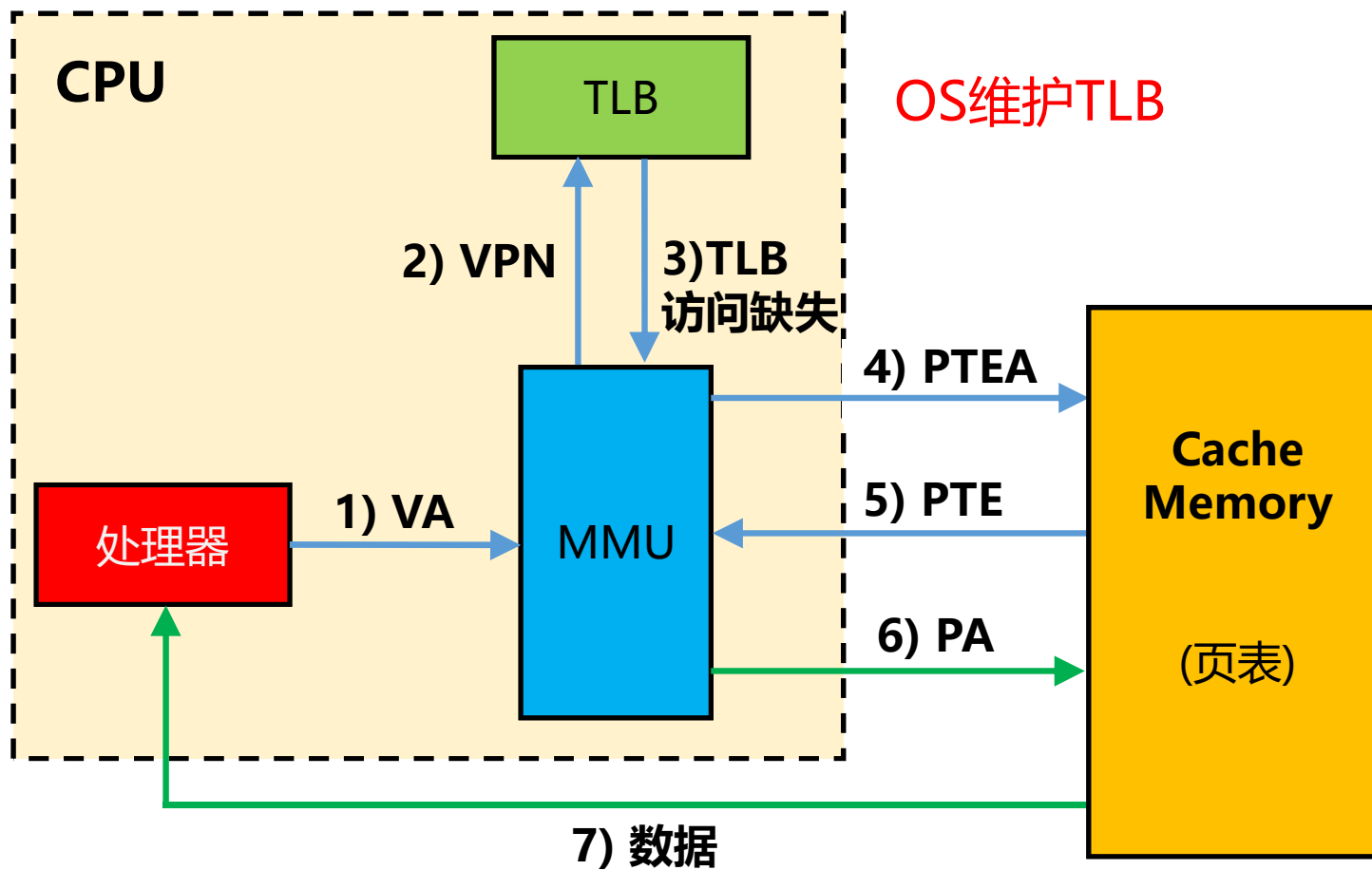
经快慢表实现内部地址转换



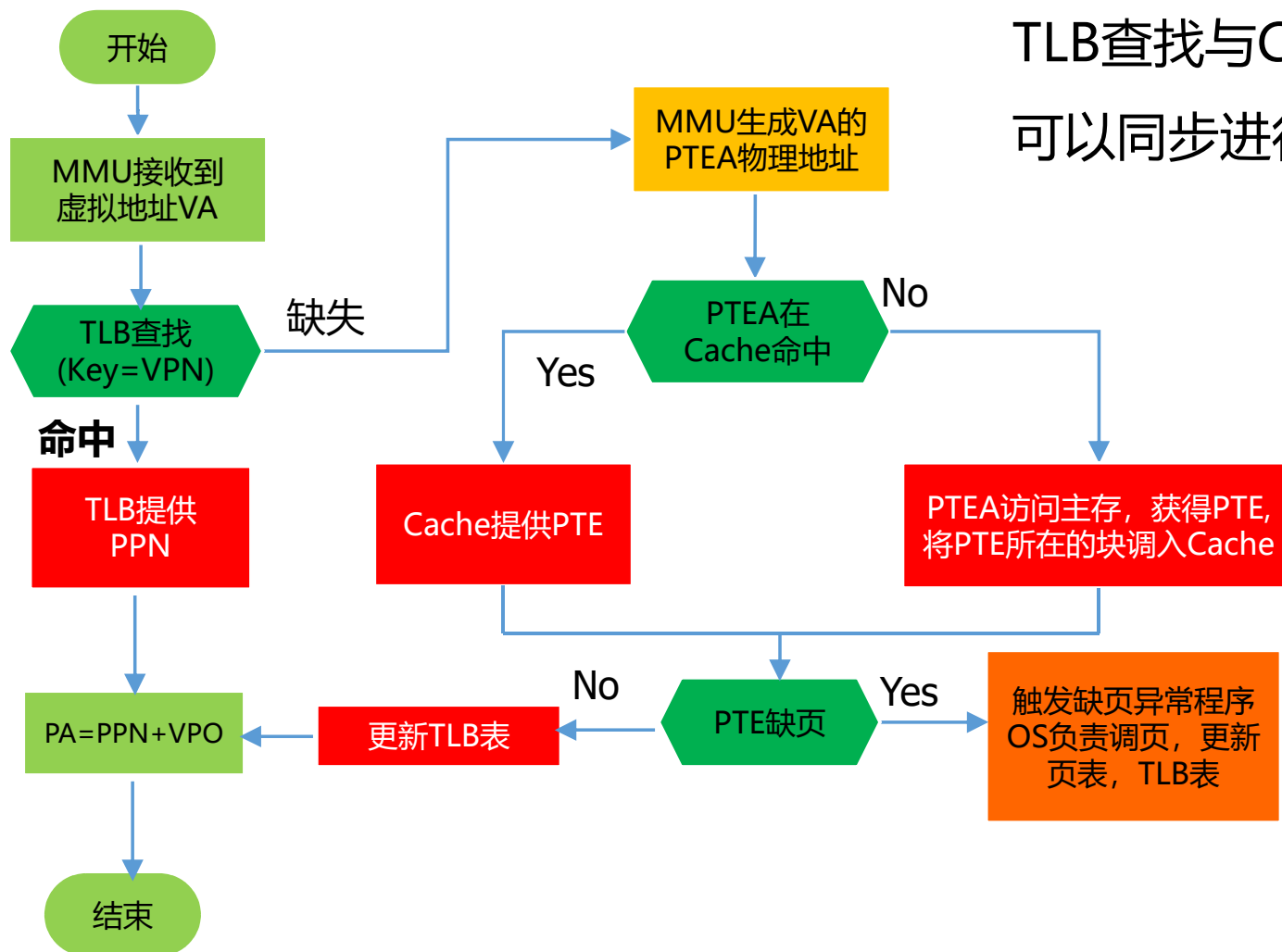
TLB 命中



TLB 缺失



虚拟地址→物理地址流程



TLB查找与Cache查找
可以同步进行

例4.7

■ P146

|| 课后作业

■ 4.2 4.7 4.8 4.11 4.14

■ 4.15

■ 4.18

■ 4.19

|| 本章主要内容

- 存储器概述
- 主存储器
- 高速缓冲存储器
- 虚拟存储器
- **外存储器**



|| 外存储器

- 磁表面存储器原理
- 硬盘存储器
- 光盘存储器

磁表面存储器原理

- 磁记录读/写原理
- 记录方式

磁记录原理

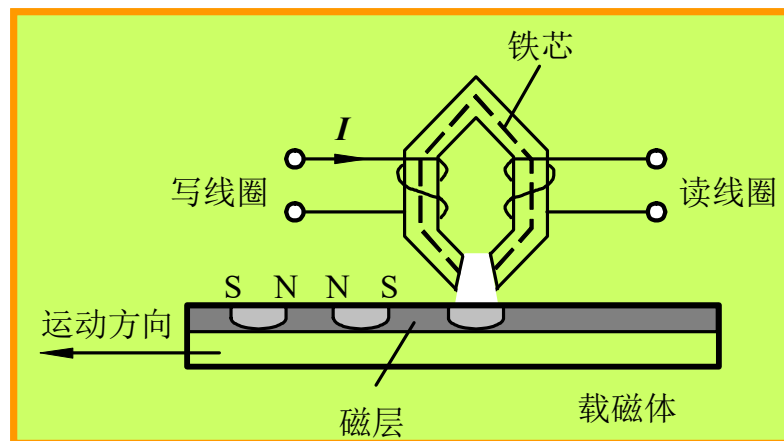
- 磁鼓、软磁盘、硬磁盘、磁带
- 将磁性材料薄薄的涂在金属或塑料表面作载磁体存储信息的方式称为磁表面存储
- 大多数外存储器均采用磁记录

磁记录特点

- 容量大，位价格低
- 可重复使用
- 长期保存
- 非破坏性读出
- 采用机械装置，机械结构复杂
- 速度慢
- 对工作环境要求高

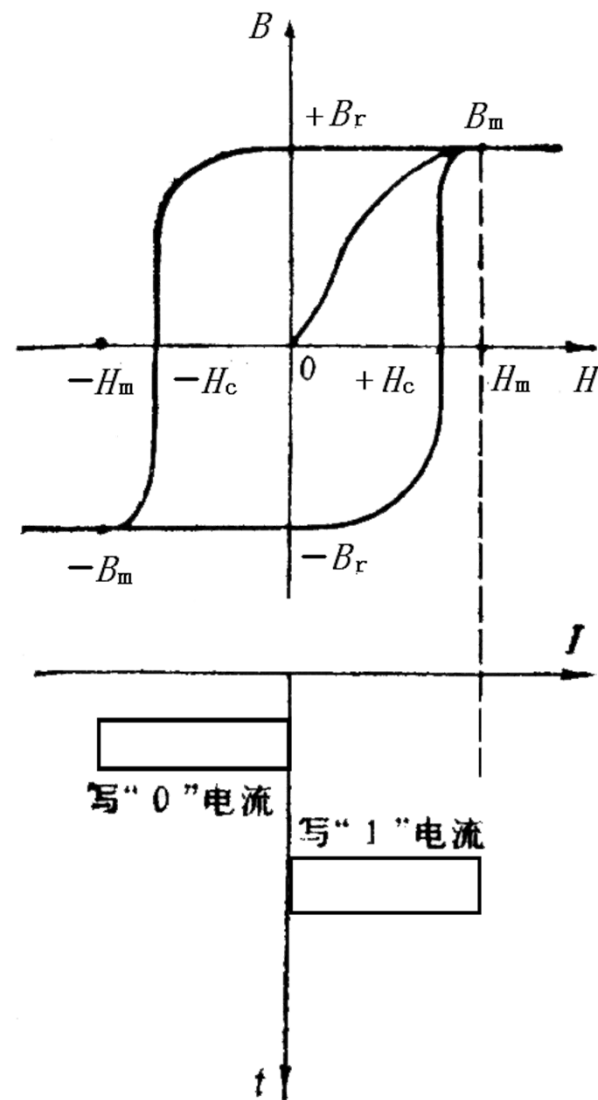
磁记录读写原理

- 磁头：软磁材料做铁芯，绕有读写线圈的电磁铁
- 磁性材料剩磁的两种磁化方向 (S-N / N-S)表示0和1
- 写入 (电磁变换)
 - 利用写线圈中的脉冲电流，将数值转换成磁存储单元中的不同剩磁状态
- 读出 (磁电变化)
 - 通过读线圈，将存储单元的剩磁状态转换为电信号输出



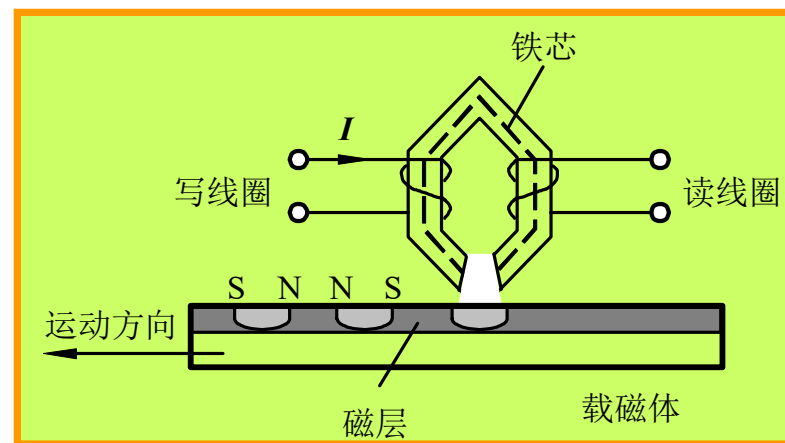
磁性材料物理特性

- I ----电流
- B ---磁感应强度
- H ---外加磁场强度
- 磁性材料被磁化后,
- 工作点总在磁滞回线上。
- 剩磁状态 $+B_r$, $-B_r$ 。
- H_c 矫顽磁力
- 矩形磁滞回线 B_r 较大容易读出, 矫顽力 H_c 较小容易磁化, 易于写入信息

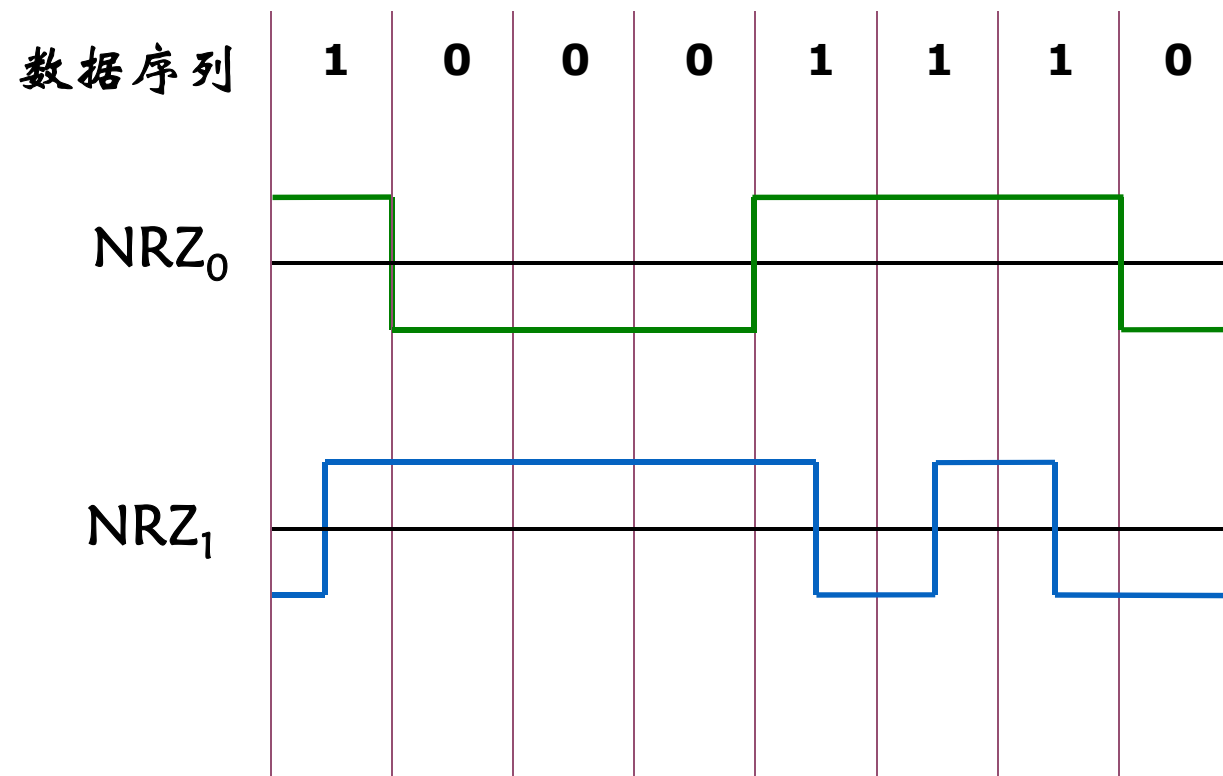


记录方式

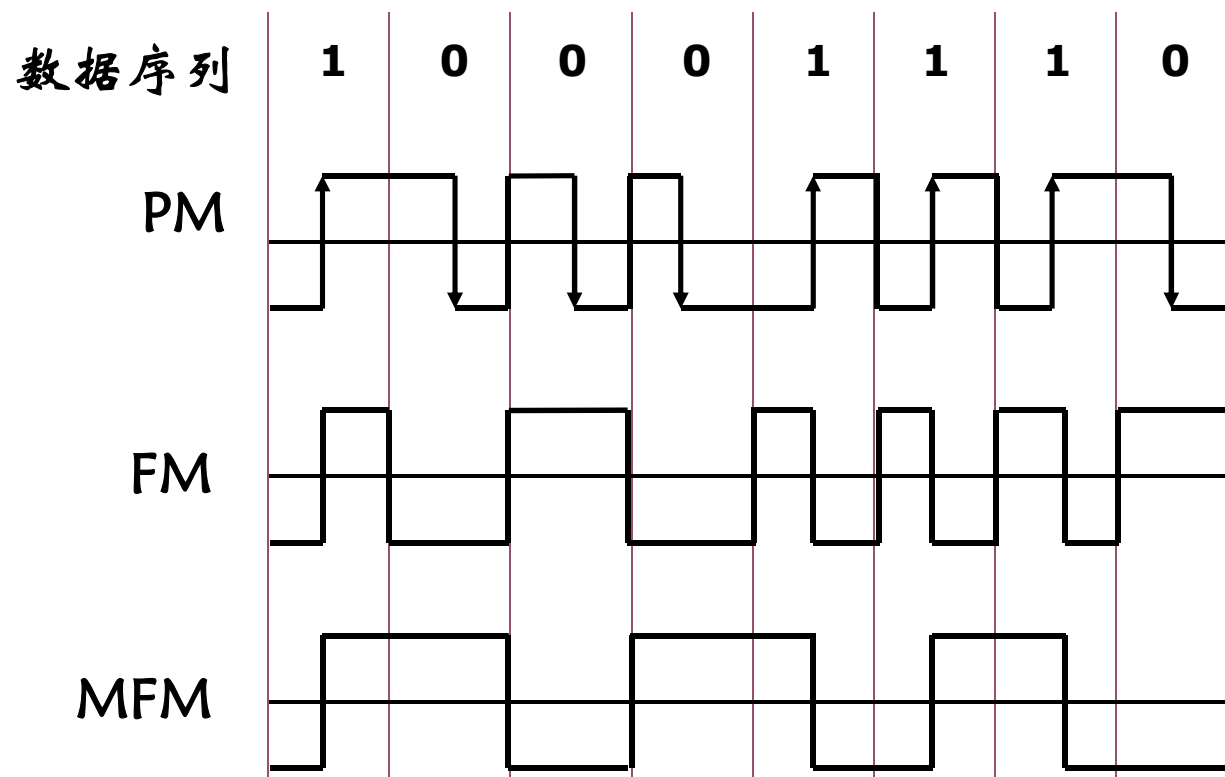
- 一个剩磁磁化方向到底代表几个数据？
- 形成不同写入电流的方式称为记录方式
 - 不归零制 (NRZ0)
 - 见“1”就翻不归零制 (NRZ1)
 - 调相制 (PM)
 - 调频制 (FM)
 - 改进调频制 (MFM)



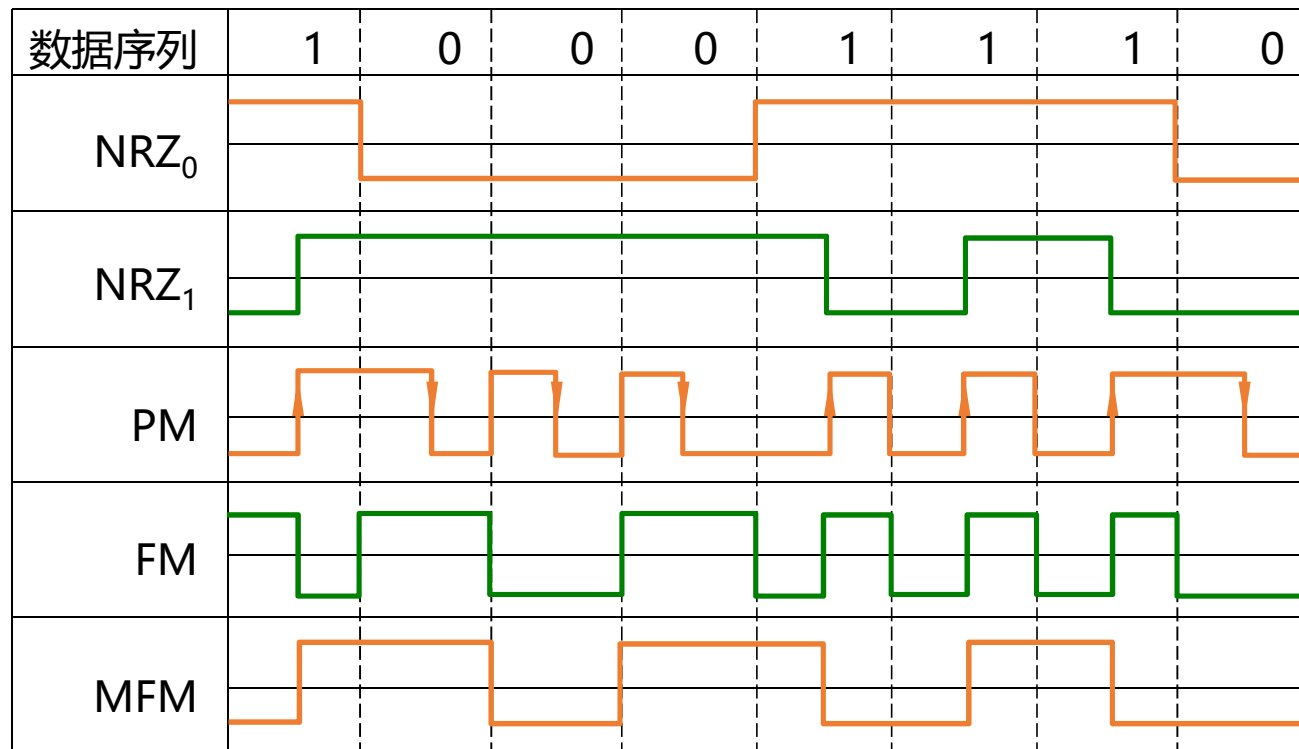
不归零制NRZ (*Not Return Zero*)



调相制、调频制



磁记录方式



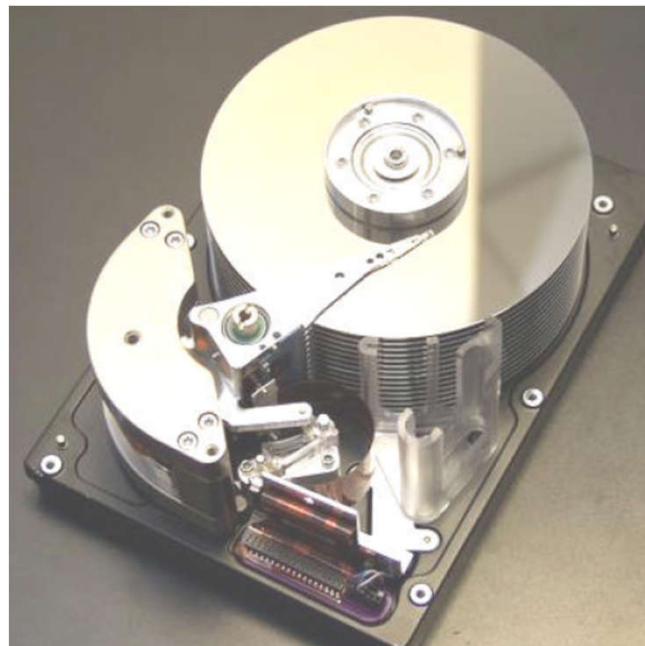
- **编码效率：** 每次磁化方向变化所存取的数据的多少
- **自同步能力：** 从读出数据中自动提取同步信号的能力

|| 硬盘存储器

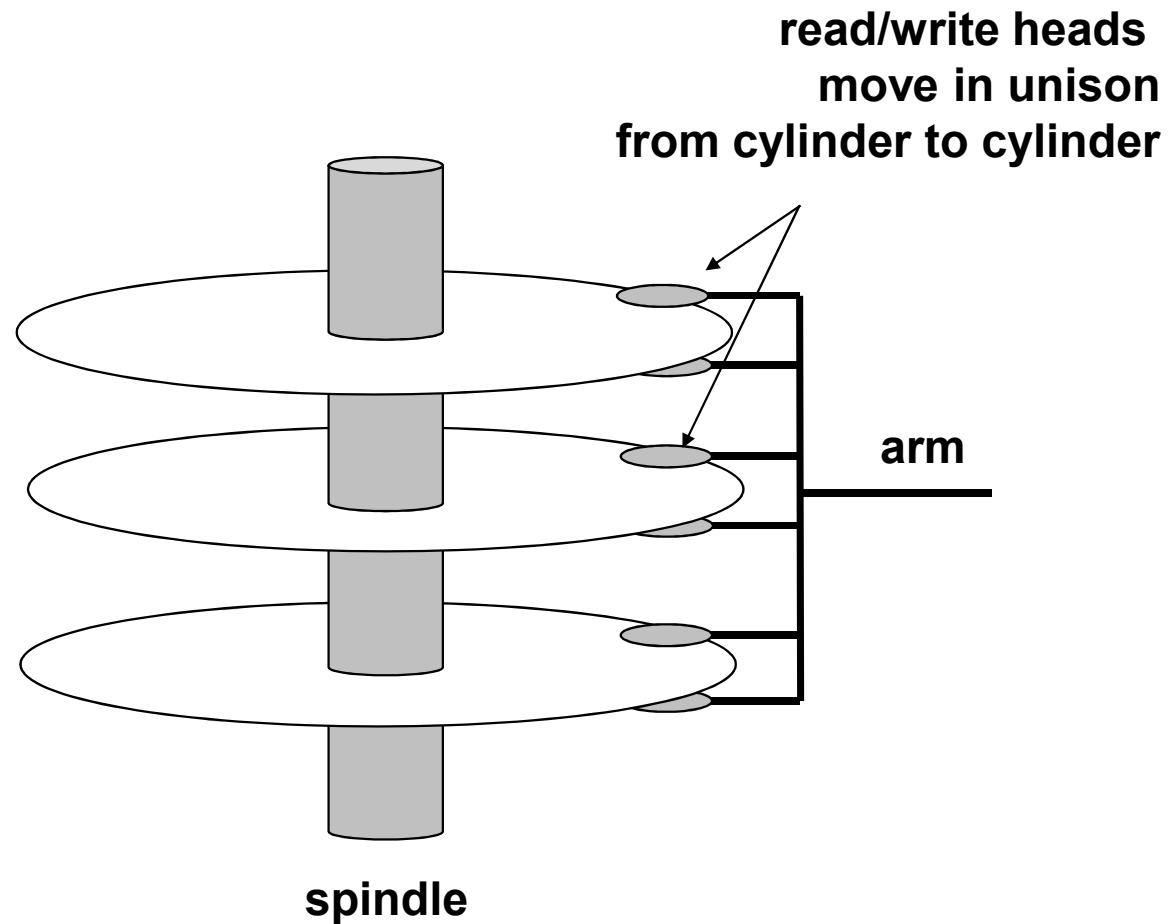
- 硬盘基本组成
- 硬盘数据信息分布
- 硬盘读写过程

|| 硬盘基本组成

- 盘片组
- 主轴驱动机构
- 磁头
- 磁头驱动定位机构
- 读写电路
- 接口及控制电路
- 空气过滤系统

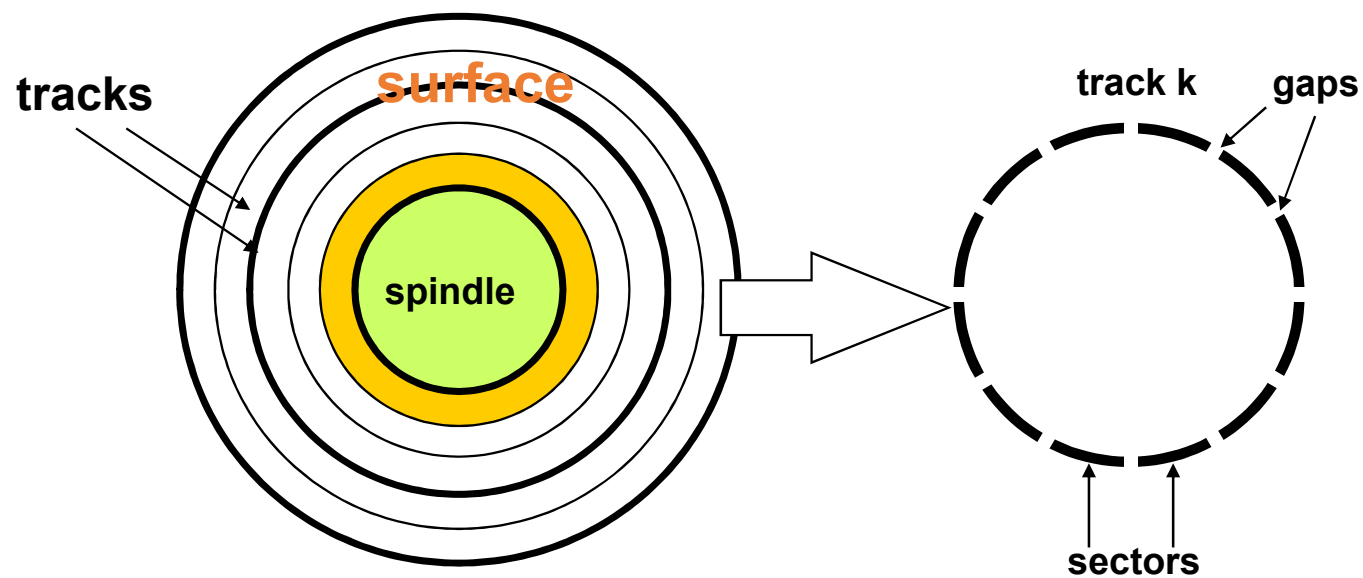


|| Disk operation (multi-platter view)



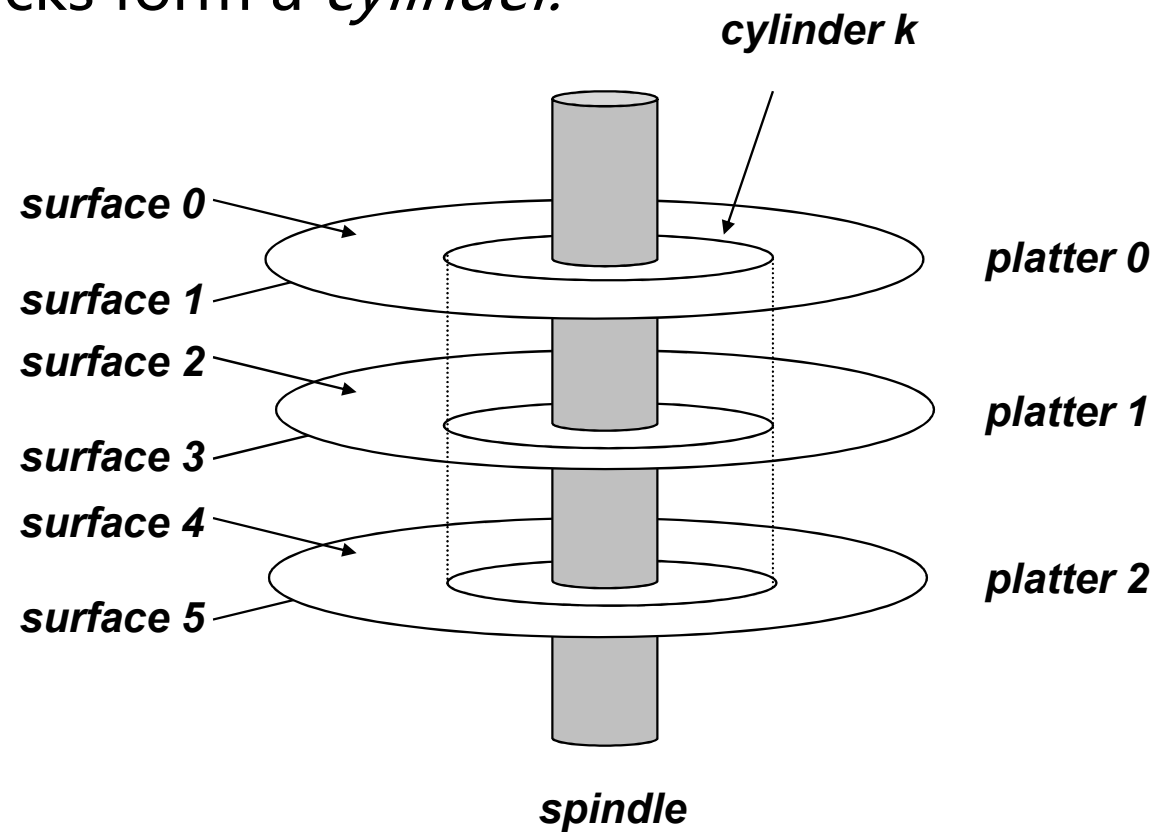
磁盘数据分布

- 磁盘包括若干盘片，每个盘片两个记录面
- 每个记录面包括若干同心圆---磁道
- 每个磁道被间隙gap分割为若干扇区



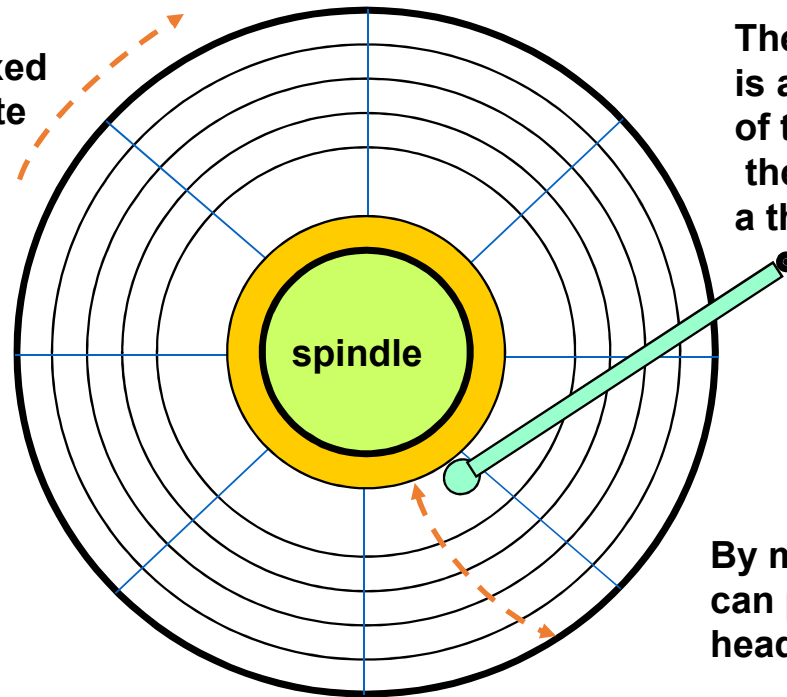
|| Disk geometry (multiple-platter view)

- Aligned tracks form a *cylinder*.



|| Disk operation (single-platter view)

The disk surface spins at a fixed rotational rate



The read/write head is attached to the end of the arm and flies over the disk surface on a thin cushion of air.

By moving radially, the arm can position the read/write head over any track.

|| 磁盘信息编址和记录格式

- 盘面号区分要访问哪个记录面。
- 所有记录面上半径相等的磁道的集合称为圆柱面Cylinder。
 - 圆柱面数等于一个记录面上的磁道数。
- 一台主机如果配有几台磁盘驱动器，则还要给它们编号，以区分是哪台磁盘机工作。因此磁盘地址格式为：

驱动器号

盘面号

柱面号

扇区号

|| Invention of HDD: 1956

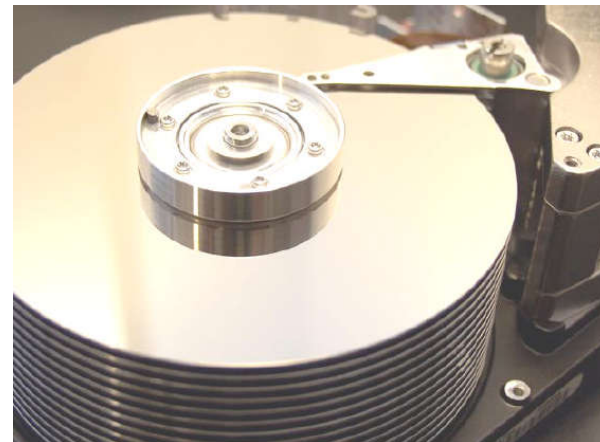
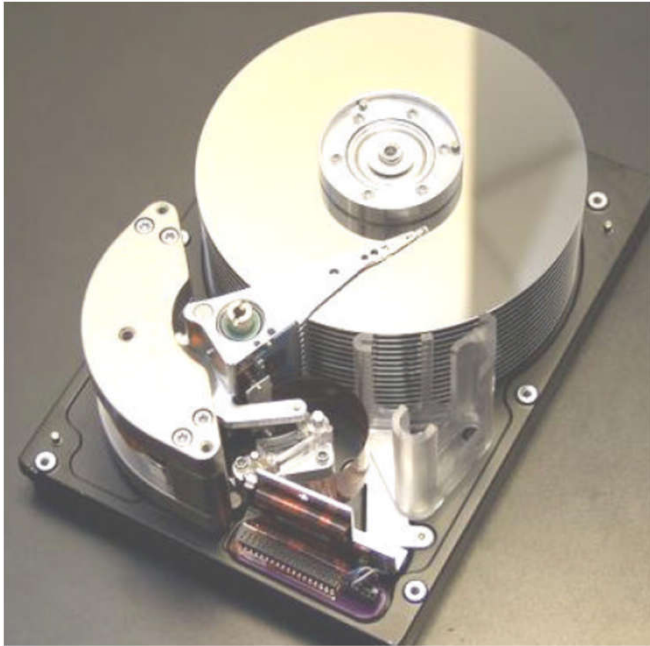


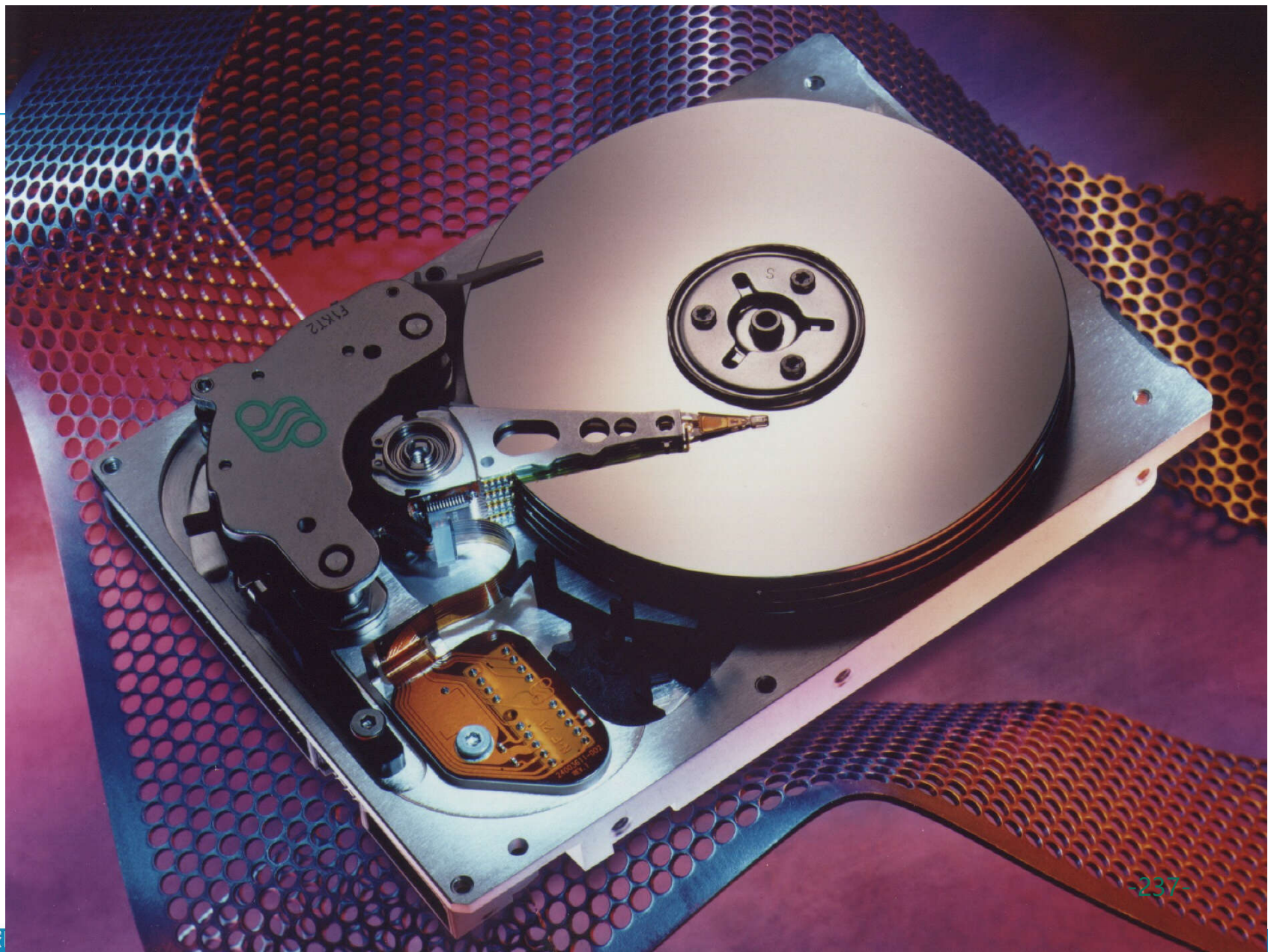
5 Mbytes,
24 disks,
2kbits/in²

60 Years Later

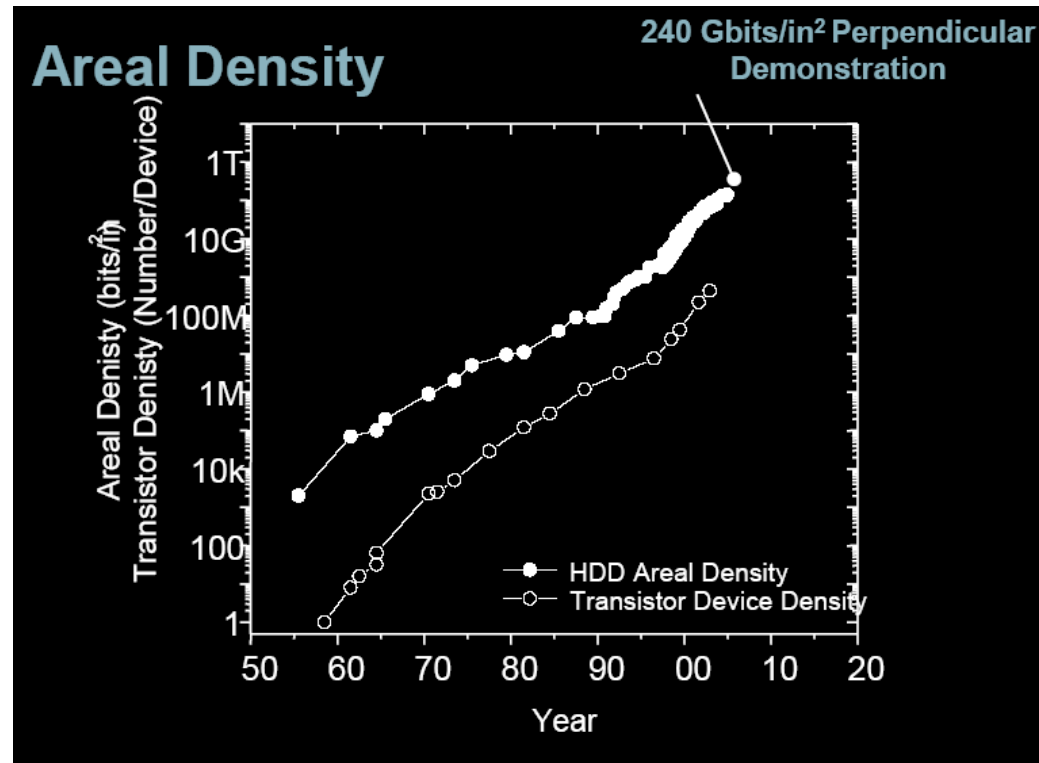
硬盘最大容量10TB，单碟容量
1.3-1.5TB，存储密度约为1Tbpsi



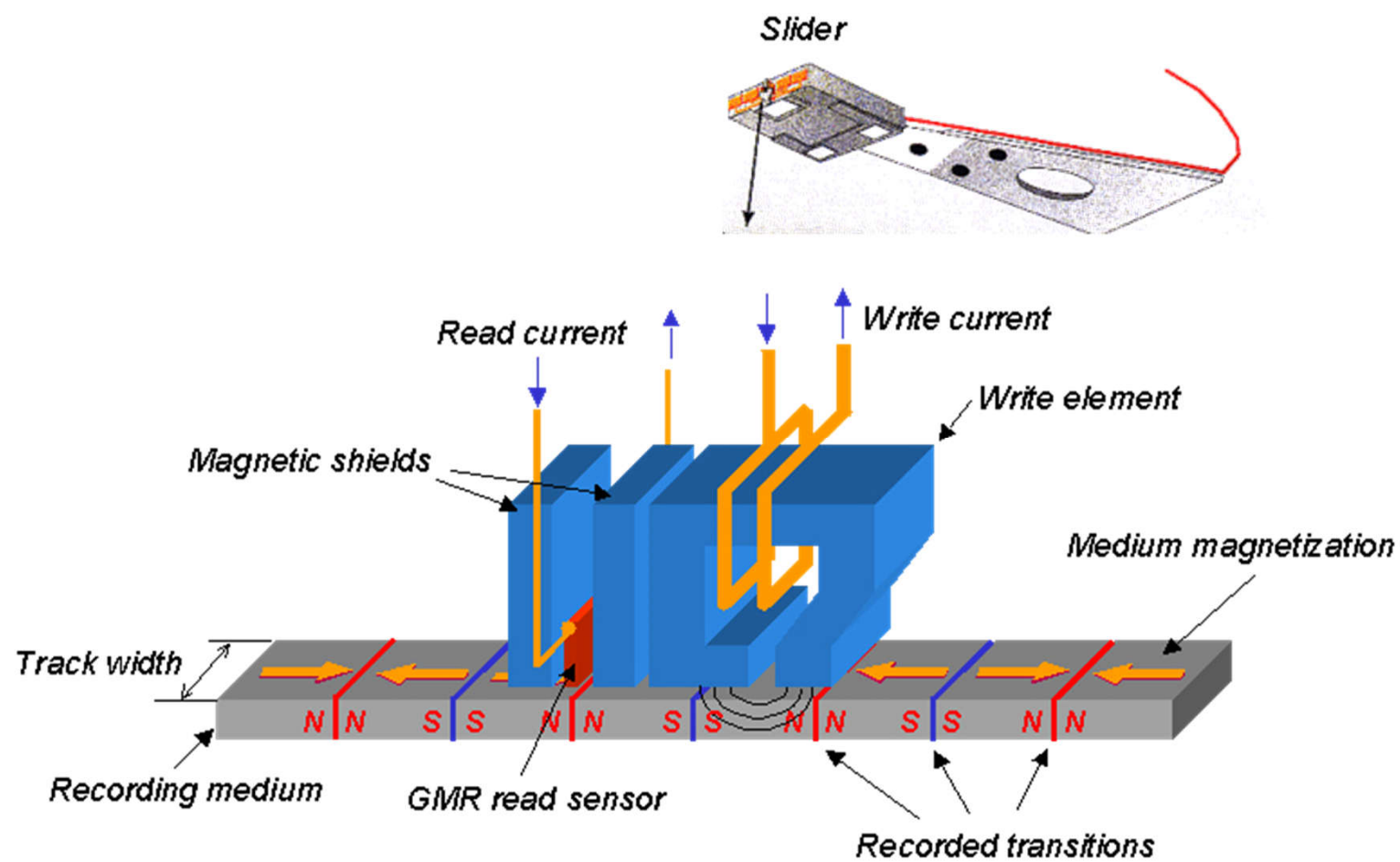




50 Years and Still Going...

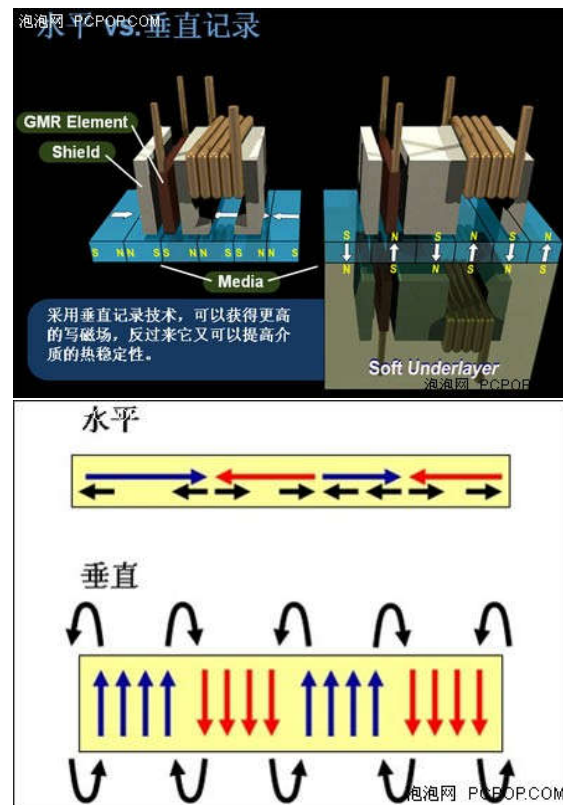
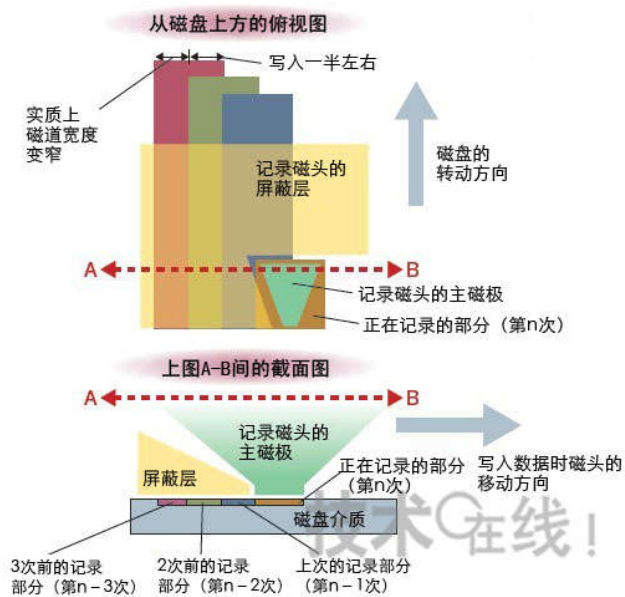


Recording



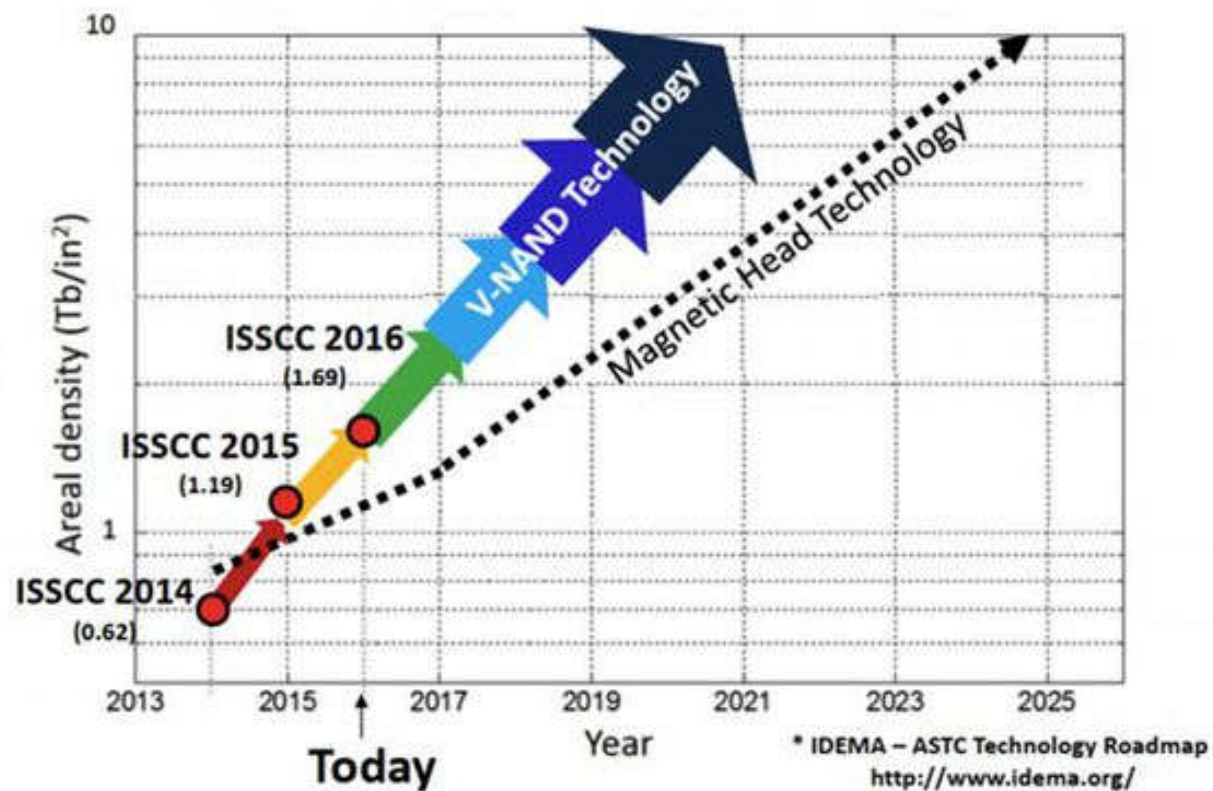
硬盘发展

- 巨磁阻技术
- 垂直磁记录
- 叠瓦记录
 - shingle



SSD超越，硬盘末日黄花

■ 10TB SSD发布 3200MB/S



|| 硬盘存储器技术指标

- 存储容量

 - (1GB=10⁶byte)

- 存储密度

- 平均存取时间

|| 存储密度/分区存储

- 磁盘单位面积上所能存储的二进制信息量
 - **道密度**是沿磁盘半径方向单位长度上的磁道数，单位为道 / 英寸 (TPI)
 - **位密度**是磁道单位长度上记录的二进制代码的位数，单位是位 / 英寸 (BPI)
 - **面密度**：道密度×位密度
- ZONE

|| 磁盘容量计算

- Capacity = (# platters/disk) x (# surfaces/platter)
x (#tracks/surface) x (avg. # sectors/track)
x (# bytes/sector)
- 512 bytes/sector、300 sectors/track (on average)、20,000 tracks/surface
- 2 surfaces/platter、5 platters/disk
- 磁盘容量 = $512 \times 300 \times 20000 \times 2 \times 5$
= 30,720,000,000 = 30.72 GB

数据传输率 byte/s

- **数据传输速率**: 单位时间从磁盘读/写信息的数量
 - 磁头定位之后, 传输速率与转速、存储密度相关。
 - 位密度为 M bits/英寸, 转速 (线速度) 为 V 英寸/s, 则数传率为 MV bits/s。
 - 转速为 m 转/s, 单磁道容量为 n 字节, 则数传率为 mn 字节/s。

平均定位时间

■ 定位时间

- 从发出磁盘读写命令起，磁头从当前位置移动到目标位置，并开始读写操作所需时间

■ 寻道时间 t_s ：将磁头定位到指定磁道上所需的时间

■ 等待时间 t_r （旋转延时）：

- 找到指定道后至指定的记录旋转至磁头下的时间，
- t_s 和 t_r 都是随机变化的，所以往往用平均值表示。
- $T_{avg\ rotation} = 1/2 \times 1/RPMs \times 60\ sec/1\ min$

■ 平均定位时间

- $T_{position} = T_{avg\ seek} + T_{avg\ rotation}$

磁盘访问时间

- Average time to access some target sector approximated by :

- $T_{\text{access}} = T_{\text{avg seek}} + T_{\text{avg rotation}} + T_{\text{avg transfer}}$

- Transfer time

- Time to read the bits in the target sector.

- $T_{\text{avg transfer}} = 1/\text{RPM} \times 1/$

(avg #sectors/track) x 60 secs/1 min.

|| Disk access time example

■ Given:

- Rotational rate = 7,200 RPM
- Average seek time = 9 ms.
- Avg # sectors/track = 400.

■ Derived:

- $T_{\text{avg rotation}} = 1/2 \times (60 / 7200) \times 1000 = 4 \text{ ms.}$
- $T_{\text{avg transfer}} = 60/7200 \times 1/400 \times 1000 = 0.02 \text{ ms}$
- $T_{\text{access}} = 9 \text{ ms} + 4 \text{ ms} + 0.02 \text{ ms}$

有效时间?

|| Important points

- Access time dominated by seek time and rotational latency.
- First bit in a sector is the most expensive, the rest are free.
- SRAM access time is about 4ns/doubleword, DRAM about 60 ns
 - Disk is about 40,000 times slower than SRAM,
 - 2,500 times slower than DRAM.

例题

磁盘组共有8个面，存储区内径2英寸,外径8英寸，道密度为100TPI，最内道位密度为5000BPI，转速为3000转/分，平均寻道时间为10ms。

- 1) 平均定位时间是多少？
- 2) 共有多少圆柱面？
- 3) 总存储容量是多少？
- 4) 数据传输率是多少？

1) 平均定位时间=平均找道时间+平均等待时间

$$\text{平均等待时间} = (1/3000/60) / 2 = 10 \text{ ms} \quad \text{平均存取时间} = 10\text{ms} + 10\text{ms} = 20\text{ms}$$

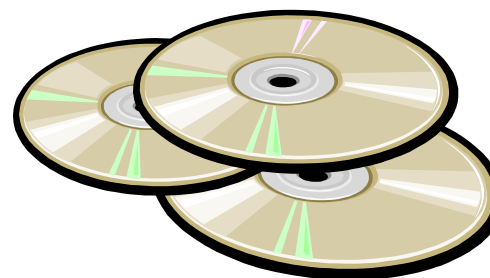
2) 圆柱面数=有效存储区域长度×道密度 = $((8 - 2) / 2) \times 100\text{道} = 300\text{道}$

3) 总存储容量=磁道长度×位密度×柱面数×盘面数 = $2 \times 3.14 \times 5000 \times 300 \times 8 \div 8 = 9.42(\text{MB})$

4) 数据传输率= 位密度×周长×转速 = $5000 \times 2 \times 3.14 \times 1 \times (3000/60) \div 8 = 0.196(\text{MB/s})$

|| 光盘存储器

- 采用聚焦激光束在盘式介质上非接触的记录高密度信息，以介质材料的光学性质（反射率、偏振方向）的变化表示 '0' 和 '1'
 - 只读型光盘 (CD - ROM)
 - 写一次型光盘
 - 重写型光盘 (REWRITE)



光记录基本原理

■ 数据表示

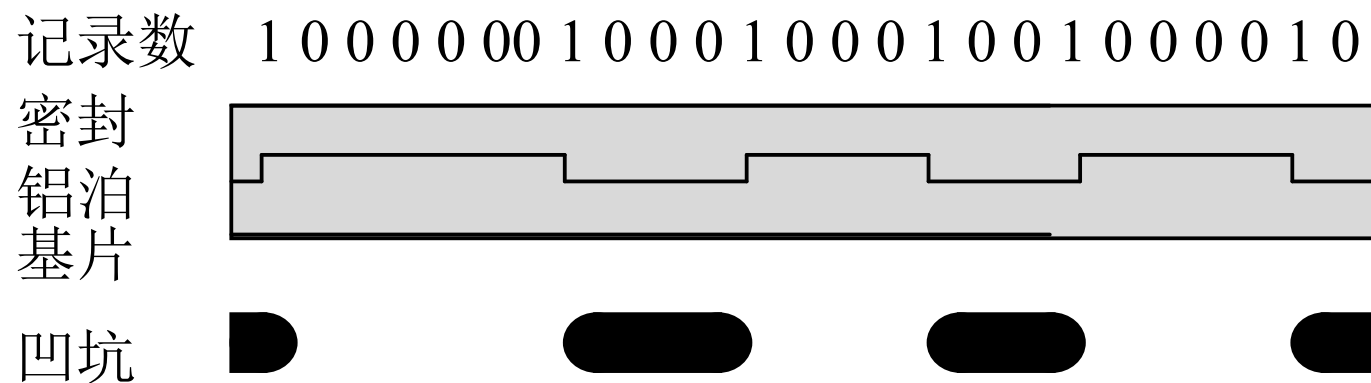
- 利用材料的凹凸坑点表示0/1
- 利用材料的晶态以及非晶态表示0/1
- 利用磁性材料的磁化方向表示0/1

■ 数据写入

- 母盘模压，激光烧刻
- 利用激光加热后冷却改变晶态
- 利用激光加热帮助磁化(热辅磁)

数据读出

- 根据反射光强度判断0/1
- 根据磁光克尔效应判断偏振光的旋转



只读型光盘

利用母盘大批量重压制作出来的光盘。

■ CD-DA

- 数字唱盘，记录数字化信息，74分钟数字立体声信息

■ VCD

- 记录数字视频和音频信息，74分钟MPEG1视频

■ DVD

- 单面4.7GB，135分钟MPEG-2

■ CD-ROM

|| CD-DA Compact Disc Digital Audio

- 一般的音乐CD，是CD系列的始祖，
- Philips和Sony于1980年发表著名的**红皮书**。
- 该种光盘产品主要用于音乐储存，由于具有高品质的数字音质，该产品数年之内即风行世界，并衍生后续各种CD光盘产品。

|| CD-ROM CD Read Only Memory

- 1985年Philips和Sony发表黄皮书。
- 定义了存储计算机数据、图形、声音及动画档案的规格，为了能储存更复杂的数据，同时也规范了控制讯号，数据侦错、数据校正、扇区大小。
- CD自此进入了计算机记忆媒体的领域。
- CD-ROM可提供650MB，当时硬盘最大容量为850MB。

|| CD-I CD-Interactive

- 黄皮书之后，Philips和Sony针对消费电子市场，推出了**绿皮书**
- 定义多媒体CD的规格及相关的硬件规格(指搭配MPEG; Moving Picture Experts Group)
- 提供了一种交互式的媒体给使用者，能同步播放声音、影像、与其它数据(例如文字)，也就是具备了播放电影的能力，使光盘进入娱乐媒体的领域。

Video CD

- **白皮书**定义了CD-I的应用规格，CD-I Bridge，即所谓的Video CD
- Philips、Sony、JVC、Matsushita共同开发
- Video CD储存的是以MPEG-1规格压缩之全屏幕全动态影像，整张Video CD可存放74分钟的影音资料。

|| 可写一次型光盘

- CD-R 利用激光在CD-R **有机染料记录面**直接加热而烧出坑(Pit)或是使有机染料曾发生**化学性退化** (Degrade), 总之就改变有机染料记录面对光的反射率。
- 被烧出坑 (Pit) 的地方它会吸收部分的激光, 而原来的表面不吸收而反射激光, 光驱将不同的反射结果转换成对应的数据

|| 可重写型光盘

- 可重写入型指光盘片可无限次的重复写入，将旧数据洗掉，重新写上新数据
 - CD-MO(Magneto-Optical)
 - PD(Phase-change Dual)
 - ◆ CD-RW(Rewritable)

MO磁光盘

- CD-MO为**磁光式光盘**，推出时被预测将取代硬盘，但由于存取时间较长，因此在功能上一直无法超越硬盘，
- 存取方式和一般的CD-ROM不同，无法和其它的光盘系统兼容，也造成磁光盘在推广上的困难。
- 三种尺寸
 - 2.5" MD, 3.5" MO, 5.25" MO。

MO磁光盘

- 采用热磁效应写入数据

- 采用激光对记录点进行加热，达到一定温度以后磁头产生的磁场即可磁化该记录点，根据磁化方向的不同表示0/1

- 采用磁光克尔效应读出数据

- 当激光照射到记录点时，反射光由于记录点磁化方向的不同产生偏振面的左旋和右旋，从而检测数据0/1

PD 相变盘

- PD是相变型光盘，1995年由Matsushita公司推出，这种光驱可读取其它的一般光盘片，但相变光盘在一般的光驱中却无法读取，由于兼容性的问题，相变光盘和磁光盘均为CD家族的异类。
- 利用相变材料的晶态和非晶态两种状态记录信息，写入时利用激光束加热记录点后迅速冷却，可以改变其状态，晶态反射率高。


CD-RW CD-ReWritable

- 为了克服PD的缺点， Philips和Ricoh1997年推出
 - CD-RW光盘片可在任何非磁光式的光驱中读取，解决了兼容性的问题，但重复改写次数低于磁光盘。
 - 可重复烧录 1000 次左右。
- 数据记录在相变合金金属上(具备高度反射性的晶体结构)
- CD-RW 使用最高功率的激光在写入数据 1 的位置加热，将小区域的合金物质融化，然后凝结成非结晶的组织，使其反射性降低。
- 中等功率的激光产生足够温度，将非结晶的组织还原成晶体结构。

|| DVD

- 在CD系列的发展中，产品的改良都局限于光盘片材质与数据格式的加强，因此存储容量始终无法突破。
- DVD则从使用较短波长的激光束着手，并提高光盘片数据的密度，推出第一代的DVD储存容量即高达4.7GB，是CD产品容量的7倍，而如果采取双面双层的记录方式，容量更可高达17GB。
 - DVD-ROM DVD-Video DVD-Audio DVD-R DVD-RAM

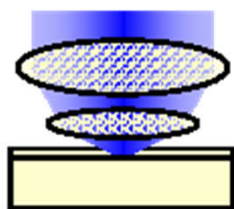
|| 新一代DVD两大阵营

	Blu-ray	HD DVD
Consumer Electronics	Hitachi,LG, Matsushita, Pioneer,Philips, Samsung, Sharp, Sony,Thomson	Toshiba
PC	HP, Dell, Panasonic, Sony	NEC
Media	TDK Panasonic, Sony	
Content		Paramount Pictures Universal Pictures New Line Cinema Warner Bros. Studios

|| 第三代蓝光盘

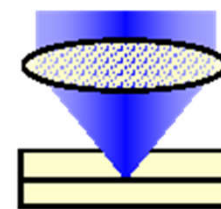
- Blu-ray Disk (BD)

- $\lambda=405\text{nm}$
- $\text{NA}=0.85$
- $d=0.1\text{mm}$
- Track pitch $0.32\mu\text{m}$
- Min feature size: $\sim 0.16\mu\text{m}$
- ROM Capacity: 25GB per layer
- Focus depth $< 0.5\mu\text{m}$
- Tilt margin $\sim \text{DVD}$
- Cover layer thickness margin $\pm 2\mu\text{m}$
- 13C format proposal



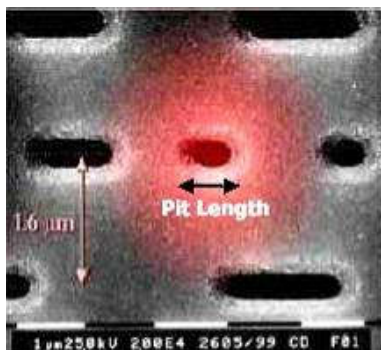
- High Density DVD (HD-DVD)

- $\lambda=405\text{nm}$
- $\text{NA}=0.65$
- $d=0.6\text{mm}$
- Track pitch $0.4\mu\text{m}$
- Min. feature size: $\sim 0.20\mu\text{m}$
- ROM Capacity: 15GB per layer
- Focus depth $< 0.8\mu\text{m}$
- Tilt margin $< \text{DVD}$
- Cover layer thickness margin $\pm 20\mu\text{m}$
- DVD-Forum format proposal



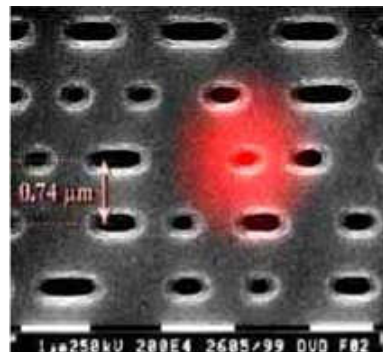
不同盘片比较

CD 0.7GB



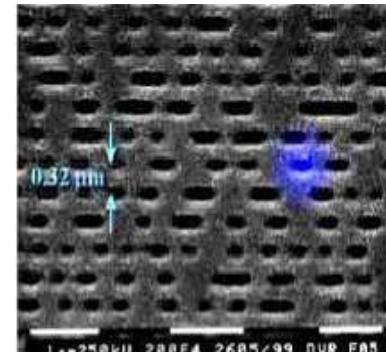
Track Pitch: **1.6 μm**
Minimum Pit Length: **0.8 μm**
Storage Density: **0.41 Gb/inch²**

DVD 4.7GB



Track Pitch: **0.74 μm**
Minimum Pit Length: **0.4 μm**
Storage Density: **2.77 Gb/inch²**

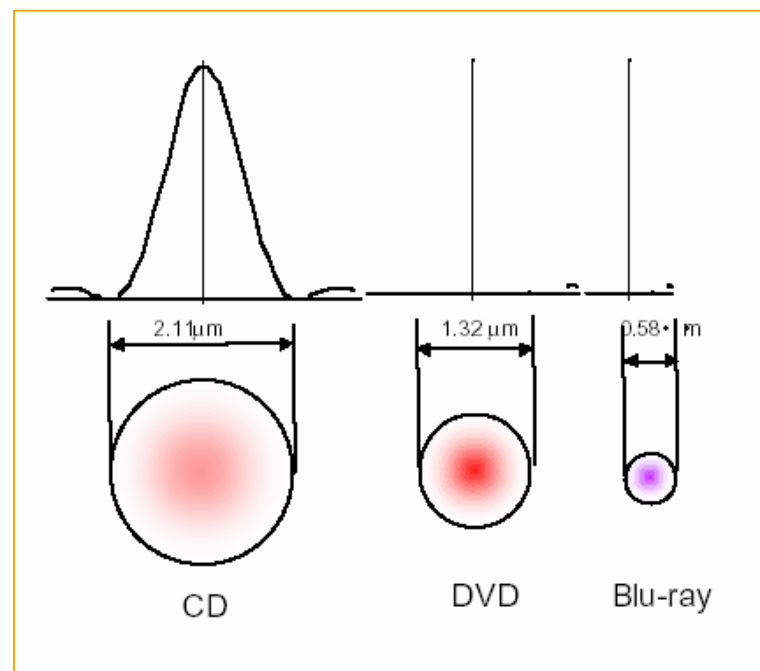
Blu-ray Disc 25GB

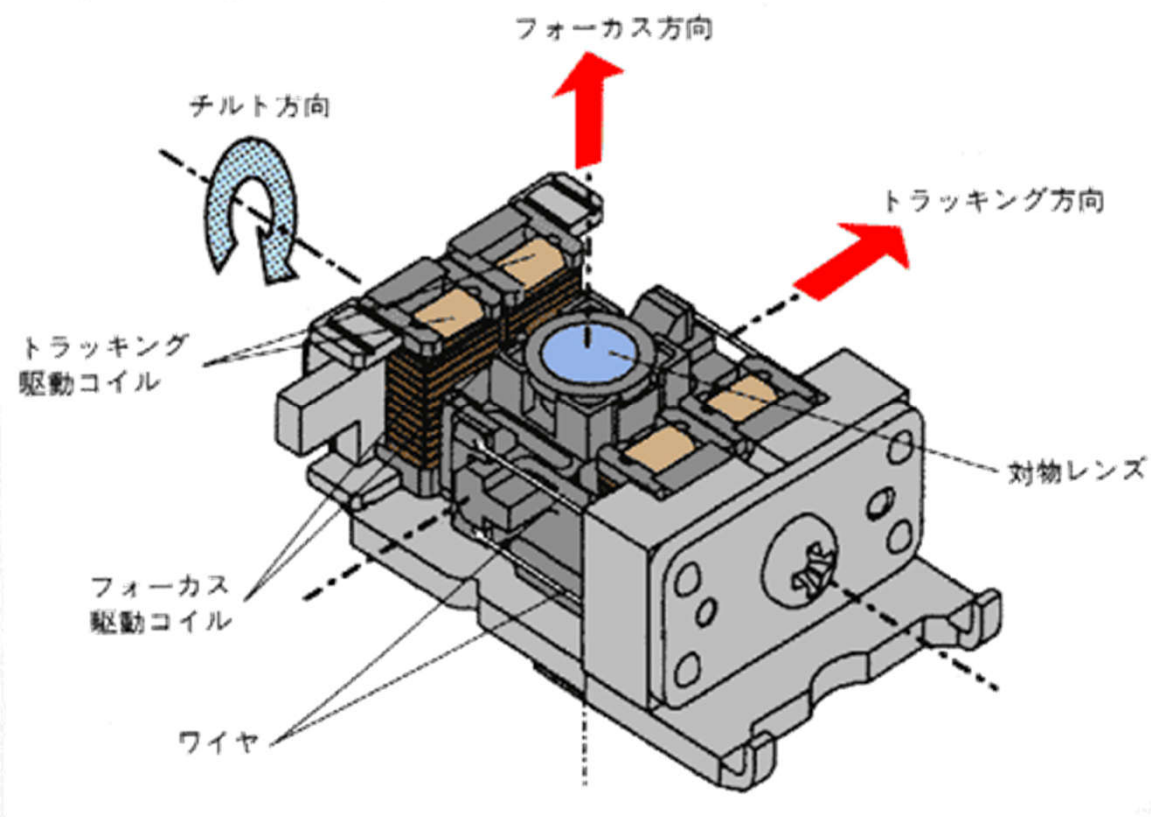


Track Pitch: **0.32 μm**
Minimum Pit Length: **0.15 μm**
Storage Density: **14.73 Gb/inch²**

光斑尺寸D,数值孔径NA,波长 λ

$$D \propto \frac{\lambda}{NA}$$





|| 光盘存储器的特点

- 存储密度高
- 非接触式读 / 写
- 盘面抗污染
- 保存时间长
- 使用方便
- 价格低

光驱的工作原理

- 写入时，被调制信号送调制器，将写入光束调制。调制后的光束由跟踪反射镜反射至聚焦系统再射向光盘，在光盘记录介质上记录信息。
- 读出时，写入光束不起作用。小功率（数mw）读出光束经光束分离器将从光盘反射回的读出光信号导入光电探测器，由光电探测器输出电信号。

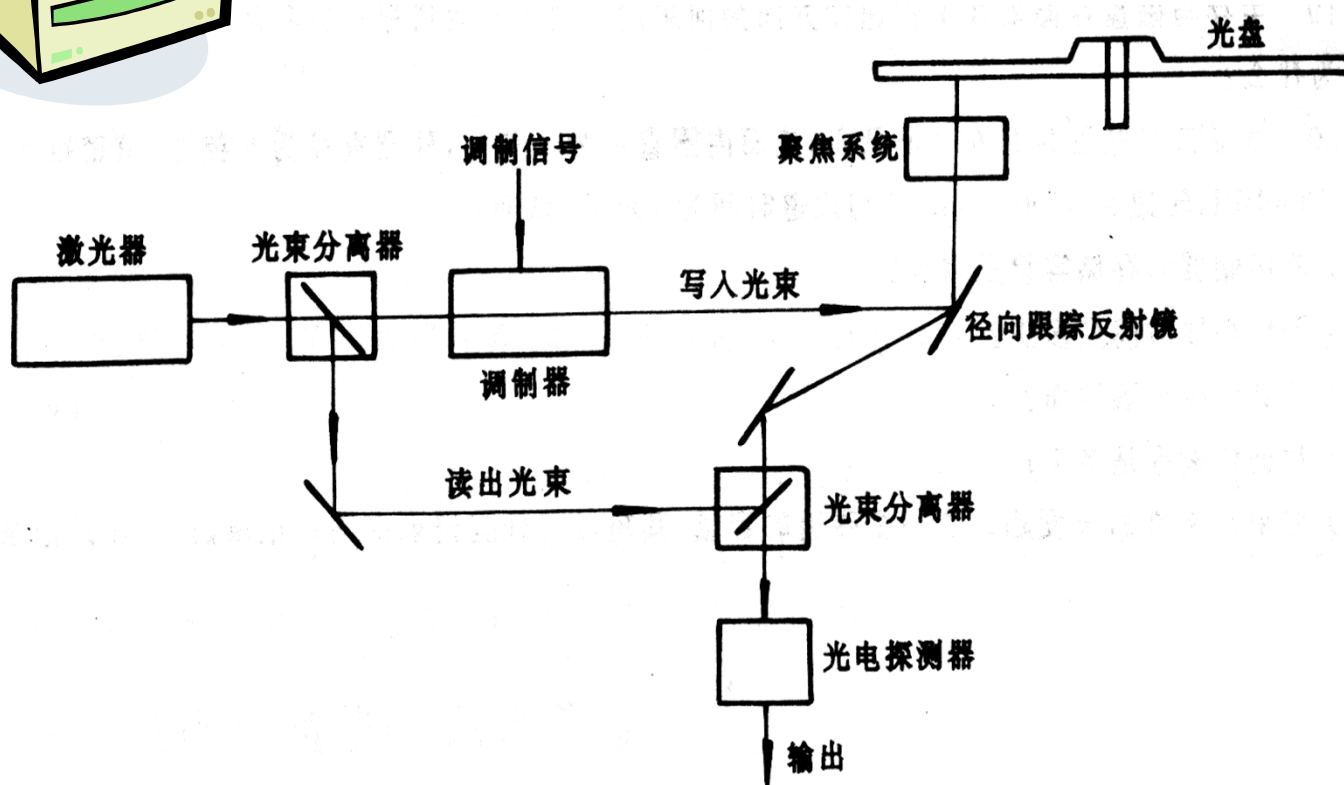
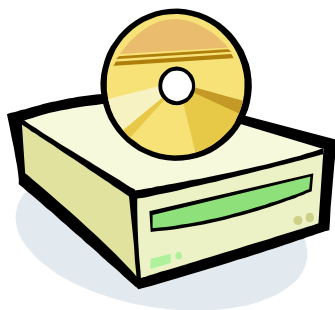


图 4.34 光盘的光学系统示意图

光驱的速度

- 最早的光驱是单倍速的，只能用来听CD，伴随着技术的更新和发展，短短几年的时间，由原来单倍速光驱到发展到现在52倍速光驱。

单速： 150KB/S

8速： 1200KB/S 读出时间 155ms

24速： 3600KB/S 读出时间 125ms

52速： 7800KB/S

|| 课后作业

■ 4.6~4.8

■ 4.14

■ 4.15

■ 4.18

■ 4.19

THANKS

计算机组成原理