



## 6.5 闪存和光存储

国防科技大学计算机学院 刘 芳



## 6.5.1 闪存存储器

### 闪存的诞生

- **许多试图取代磁盘技术的发明，基本都失败了**
  - CCD存储器、磁泡存储器、全息存储器都无法取代磁盘
  - 每当新的技术即将推出，磁盘技术总是比预期取得更大的飞跃
- **第一个成功的挑战者是快闪式存储器(Flash Memory)**
  - 一种非易失性的存储器，速度比DRAM存储器慢
  - 相对于传统磁盘，其尺寸小，功耗低、抗震好，访问延迟是磁盘的1‰~1%
  - 闪存每GB的成本不断下降，闪存芯片成本已跌破1美元/GB



## 6.5.1 闪存存储器

- 闪存：一种电可擦写、可编程只读存储器(E<sup>2</sup>PROM)
- 闪存分类
  - NOR Flash
  - NAND Flash

### ❖ NOR Flash

- 随机的，可以直接按字节访问
- 快速：随机读
- 慢速：擦除和写
- 主要用于存储程序代码(code)

### ❖ NAND Flash

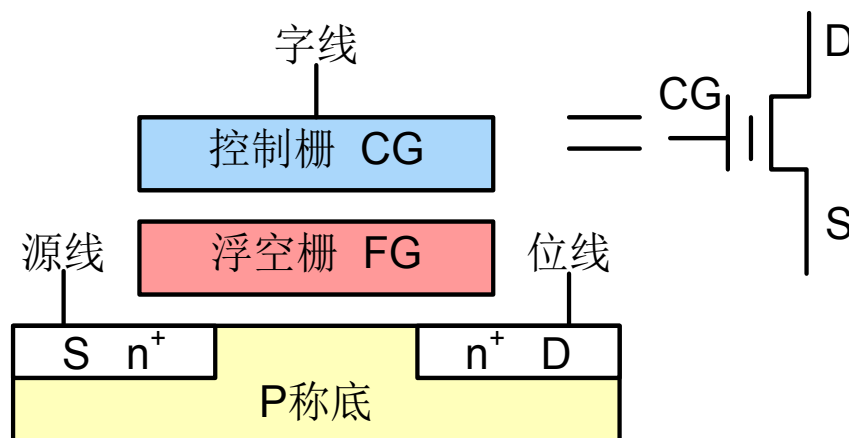
- 块级 I/O 访问
- 更高的集成度（容量更大，成本更低）
- 较好的擦除和写性能
- 主要用于存储数据(data )



## 6.5.1 闪存存储器

### 闪存芯片的单元电路结构

- 闪存单元由一个带浮栅的晶体管构成，该晶体管的阈值电压可通过在其栅极上施加电场而被反复改变(编程)

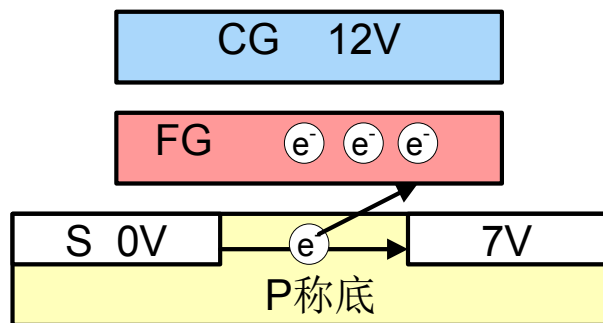




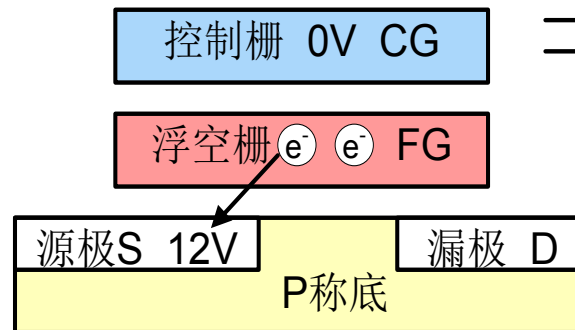
## 6.5.1 闪存存储器

### 闪存芯片的单元电路结构

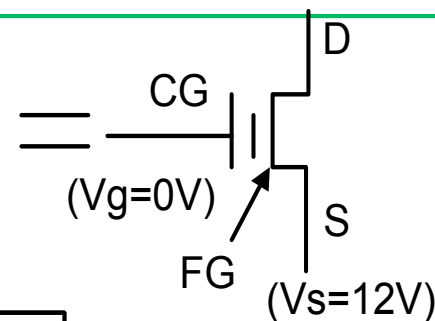
- 闪存单元由一个带浮栅的晶体管构成，该晶体管的阈值电压可通过在其栅极上施加电场而被反复改变(编程)
- 若浮空栅上保存有电荷，源(S)、漏(D)极间形成导电沟道：信息“0”
- 若浮空栅上没有电荷，源、漏之间无法形成导电沟道：信息“1”



向浮空栅增加电荷——> “0”



从浮空栅移走电荷——> “1”

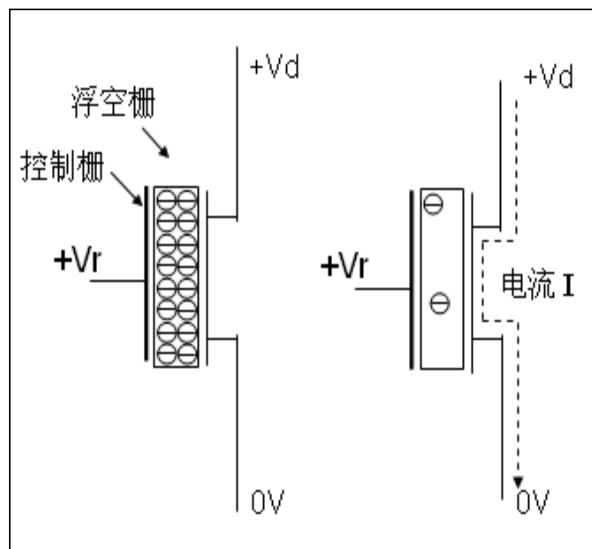




## 6.5.1 闪存存储器

### 闪存的工作原理

- 读出：控制栅加正电压，若状态为0，则读出电路检测不到电流；若状态为1，则能检测到电流



(a) 读 “0” (b) 读 “1”

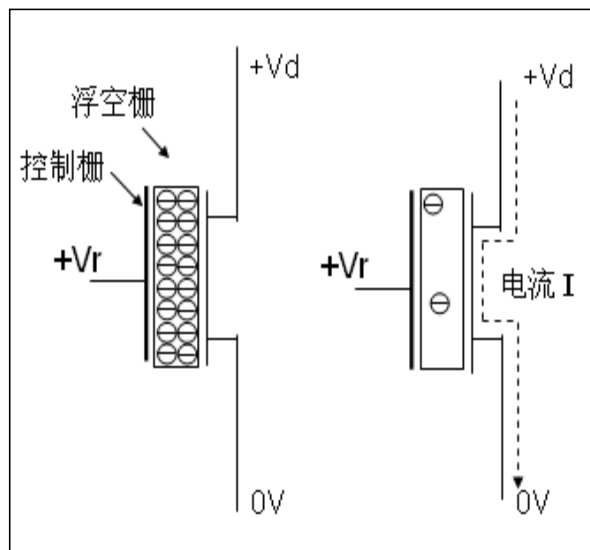


## 6.5.1 闪存存储器

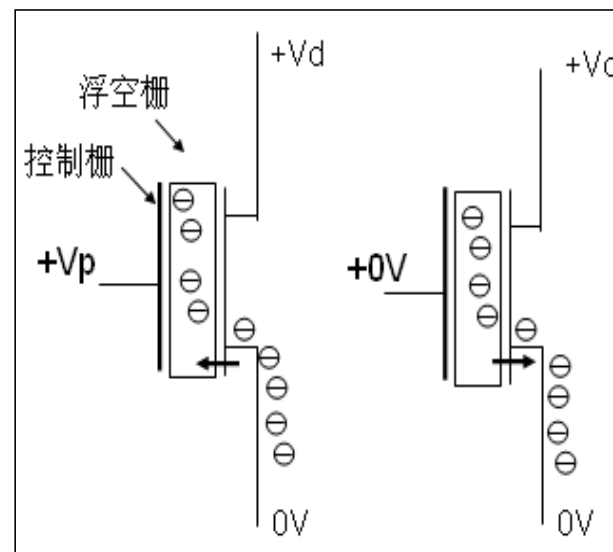
### 闪存的工作原理

读快、写慢！

- 读出：控制栅加正电压，若状态为0，则读出电路检测不到电流；若状态为1，则能检测到电流
- 写入：编程(需要之处写0)；块擦(所有单元为1)



(a) 读 “0” (b) 读 “1”



(a) 编程:写 “0” (b) 擦除:写 “1”



## 6.5.1 闪存存储器

- 访问性能比较

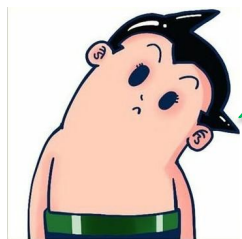
Media	Access time		
	Read	Write	Erase
DRAM	5ns (1B) 2.56us (512B)	5ns (1B) 2.56us (512B)	-
NOR FLASH	150ns (1B) 14.4us (512B)	211us (1B) 3.52ms (512B)	1.2s (16KB)
NAND FLASH	20us (1B) 32.8us (512B)	200us (1B) 212us (512B)	1.5ms (128KB)
DISK	12.4ms (512B) (average)	12.4 ms(512B) (average)	-

- 价格比较：HDD磁盘<<NAND闪存<DRAM内存<NOR闪存



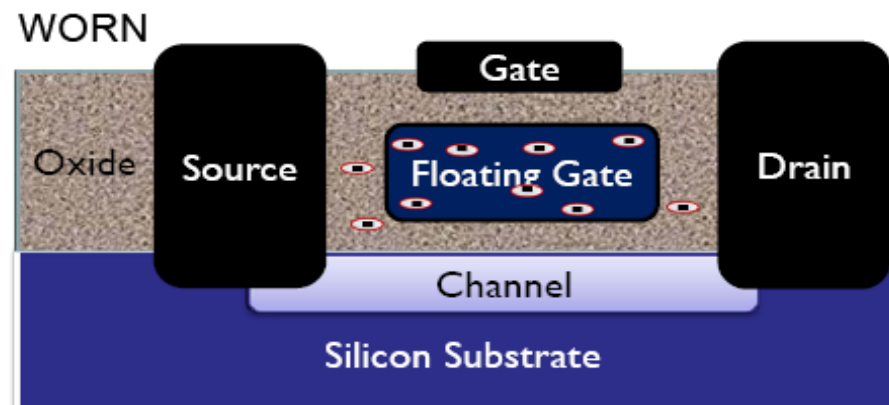
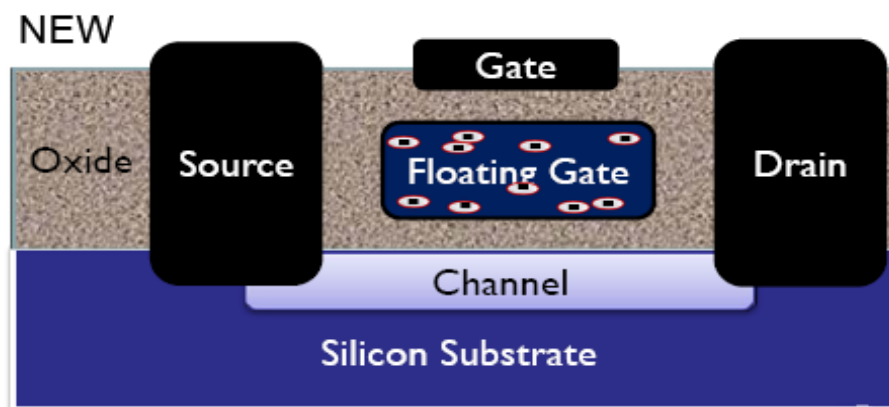


## 6.5.1 闪存存储器



为什么闪存使用  
寿命有限？

反复的擦写，浮栅中的电子可能  
泄漏，从而无法可靠的区分  
“1” 和 “0” 两种状态





## 6.5.1 闪存存储器

### 闪存的损耗均衡

损耗均衡(wear leveling)技术

- 通过重映射，将写操作从擦写次数多的块转移到擦写次数较少的块，以均衡对芯片内存储位元的擦写次数/磨损程度
- 虽然损耗均衡降低了闪存的性能，但可以减少块的损耗，提高闪存的可靠性
- 2008年，第一批以闪存（固态硬盘SSD）代替磁盘的笔记本电脑上市，带来了更快的启动速度、更小的尺寸和更长的电池使用时间

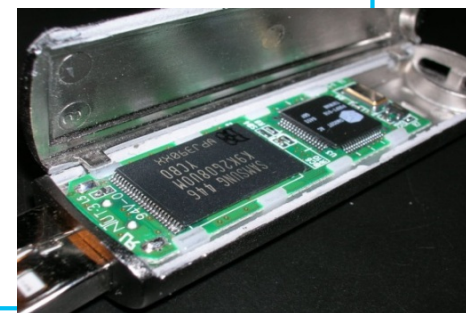


## 6.5.1 闪存存储器

### 优盘

一种基于通用串行总线(USB)接口的微型大容量移动存储设备，采用闪存（Flash Memory）作为存储芯片

- 体积小、重量轻、容量较大
- 无外接电源、使用简便，即插即用
- 存取速度快、可靠性好
- 携带方便，抗震，防潮
- 采用USB接口，通常都带有写保护功能





## 6.5.1 闪存存储器

### 闪存与EEPROM比较

#### 相同点

- 属于不挥发的存储器
- 具有在线编程能力

#### 不同点

- EEPROM要求数据的写入或擦除每次一个字节，必须整个芯片擦除和重新编程；而Flash Memory允许以字块为存储单位写入或擦除，速度快
- EEPROM寿命有限，一般重新编程次数限于几万~几十万次；而Flash Memory重新编程次数可达一百万次
- EEPROM的擦除、写和读数据需要不同的电压；而Flash Memory只需单一的电压，工作功率较小





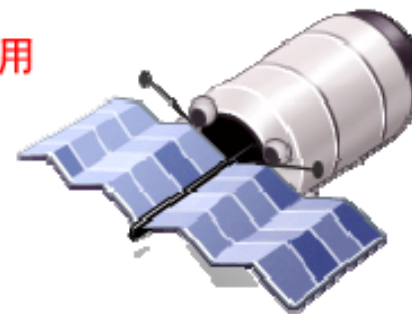
## 6.5.1 闪存存储器

### 闪存的多样化应用

移动设备  
个人信息管理



航天平台、空间应用  
海量数据管理



Web数据管理



野外应用  
恶劣环境数据管理

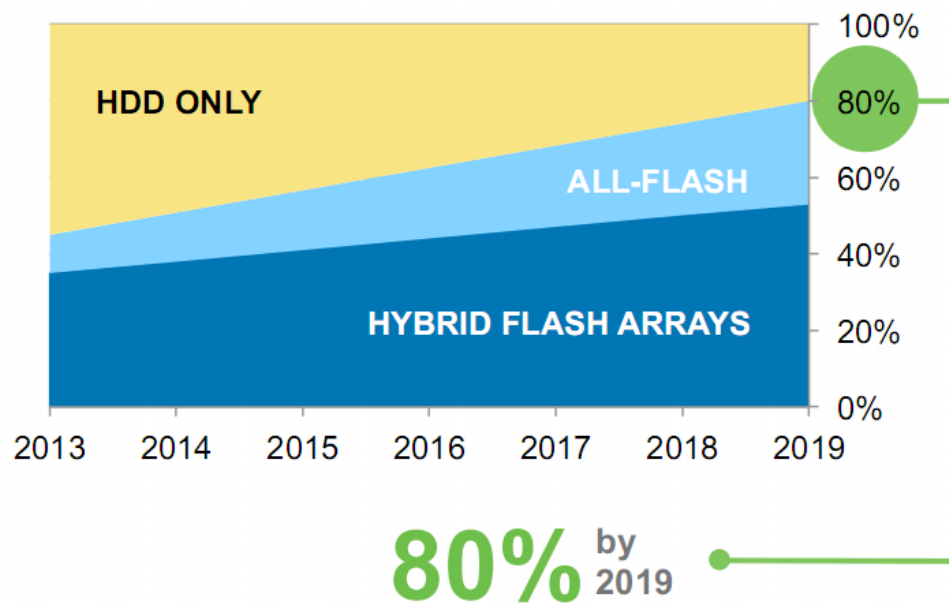




## 6.5.1 闪存存储器

### 闪存SSD的发展

- 三类存储系统的发展趋势
  - 仅由磁盘构成
  - 仅由闪存构成
  - 混合介质构成
    - Flash和HDD混合
    - Flash和DRAM混合



Fastest SSD



Largest SSD



Densest SSD





## 6.5.2 光盘存储器

### 光存储器ODM (Optical Disk Memory)

#### ■ 光盘的诞生

- 最早追溯到1980年SONY及Philips两家公司共同推出的CD-DA(Compact Disc-Digital Audio、30cm)光碟。用以存储电影

#### ■ 通过激光手段对存储介质进行读写操作

- **工作原理**：将激光聚焦成极细光束在存储介质上存储信息，根据激光束和反射光的强弱不同，实现信息读写
- **优点**：光盘存储器记录密度高，单片盘存储容量大，非接触式读写，光盘易于更换、便于保管，对环境条件没有苛求
- **缺点**：光盘机寻道时间长，可擦写性能不如磁盘快



## 6.5.2 光盘存储器

### 光盘的分类

#### ① 形变型光盘

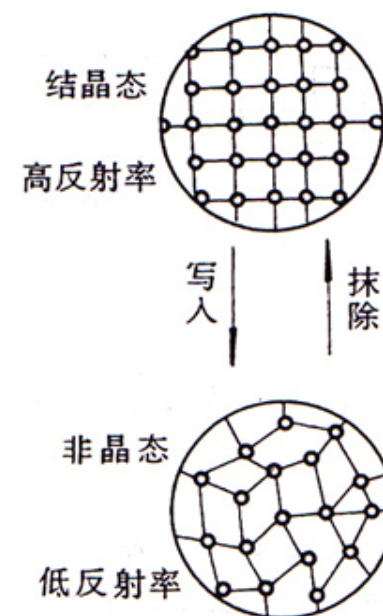
- 记录层表面形状发生变化，如凹凸、发泡与否等
- 形变型光盘是不可逆的（只读型）
- 如：CD-ROM、VCD、DVD-ROM

#### ② 相变型光盘PCD (Phase Change Disc)

- 记录层发生相变，光学特性发生改变
- 不可逆相变：晶态→非晶态，只能写一次（追忆型光盘）
- 可逆相变：晶态 $\leftrightarrow$ 非晶态，可写多次（可擦型光盘）

#### ③ 磁光型光盘MOD(Magneto Optical Disc)

- 磁记录层的两种剩磁状态记录信息，可多次读写（可擦型光盘）







## 6.5.2 光盘存储器

### 光盘存储器的构成

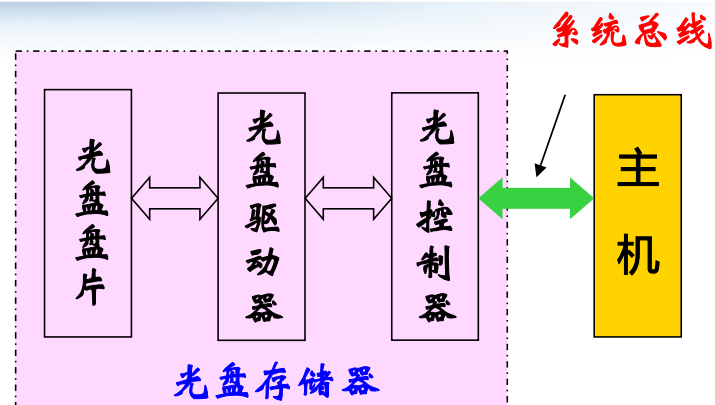
#### ■ 光盘盘片：记录信息的基体

#### ■ 光盘驱动器ODD (Optical Disk Driver )

- 组成：电机驱动机构、定位机构、光头装置及其逻辑电路
- 功能：驱动光盘转稳、转准，寻找光道并借助光头和激光器完成读写操作

#### ■ 光盘控制器ODC (Optical Disk Controller)

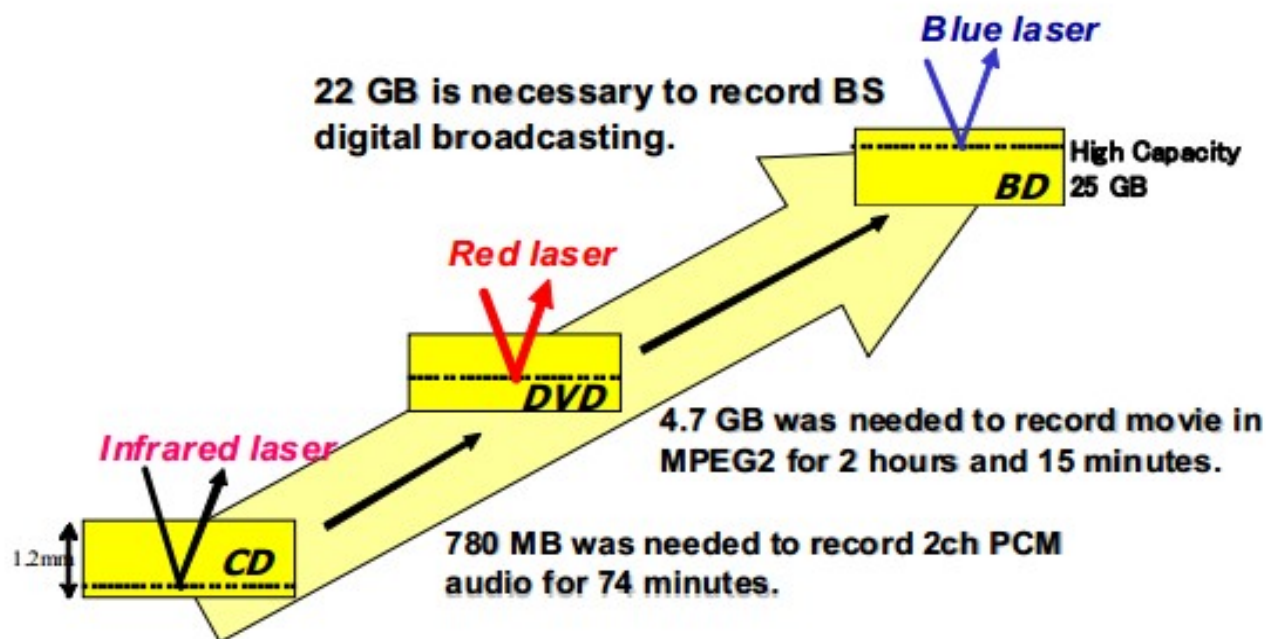
- 组成：数据输入输出缓冲器、编码器、译码器和并/串转换电路等
- 功能：通过I/O接口实现主机与ODD信息交换，控制ODD驱动盘片旋转、寻道和进行读写操作





## 6.5.2 光盘存储器

### 光存储器的发展



- 红光光盘的存储密度和容量已基本达到极限
- 蓝光的光波比红光短，存储密度可达到更高



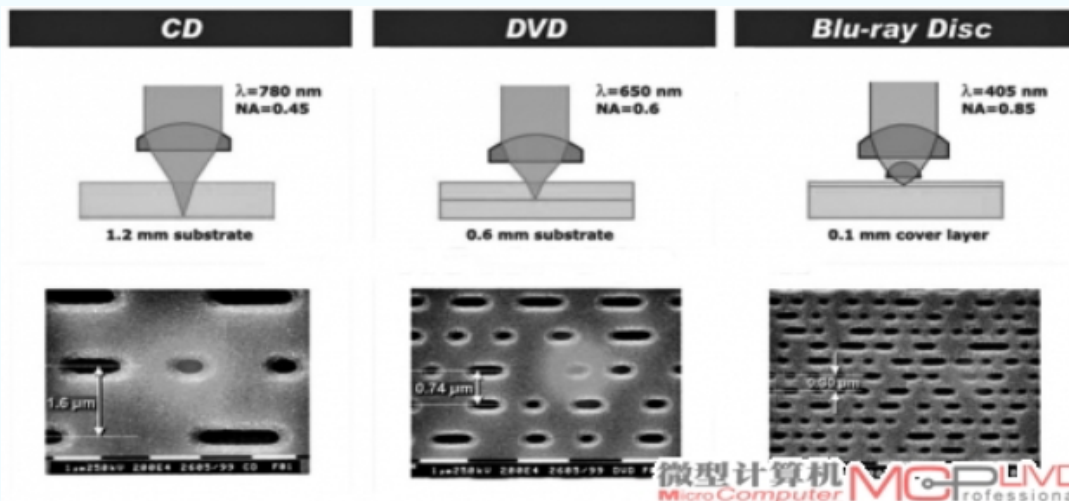
## 6.5.2 光盘存储器

### 蓝光光盘

#### ■ 读写用的激光十分精确

- 光红光波长600多nm，而蓝光波长400多nm，蓝色激光能够读写一个只有200nm的点，而红色激光只能读写350nm的点

#### ■ CD、DVD、BD光盘结构和读取方式比较



记录的信息量  
更大！



## 6.5.2 光盘存储器

### 全息光存储技术

- **诞生及原理**
  - 50年前匈牙利物理学家发明
  - 全息光存储原理：数据以全息图形式记录在存储材料中
  - 全息图：物光、参考光相遇产生干涉，使存储材料的化学/物理特性发生改变
- **全息光盘容量可高达200GB( \$ 100) ~ 1TB , 其驱动器 \$ 20000 → \$ 2700**
  - 2006年日本Optware公司研发200GB
  - 2007年美国Inphase公司研发300GB、20MHz/s、5.25in
- **全息光存储、蓝色光盘是目前最有希望的两种光存储技术**