

计算机组织结构

8 内部存储器

任桐炜

2021年10月14日



南京大學
NANJING UNIVERSITY

教材对应章节



第7章 存储器分层体系结构



第5章 内部存储器

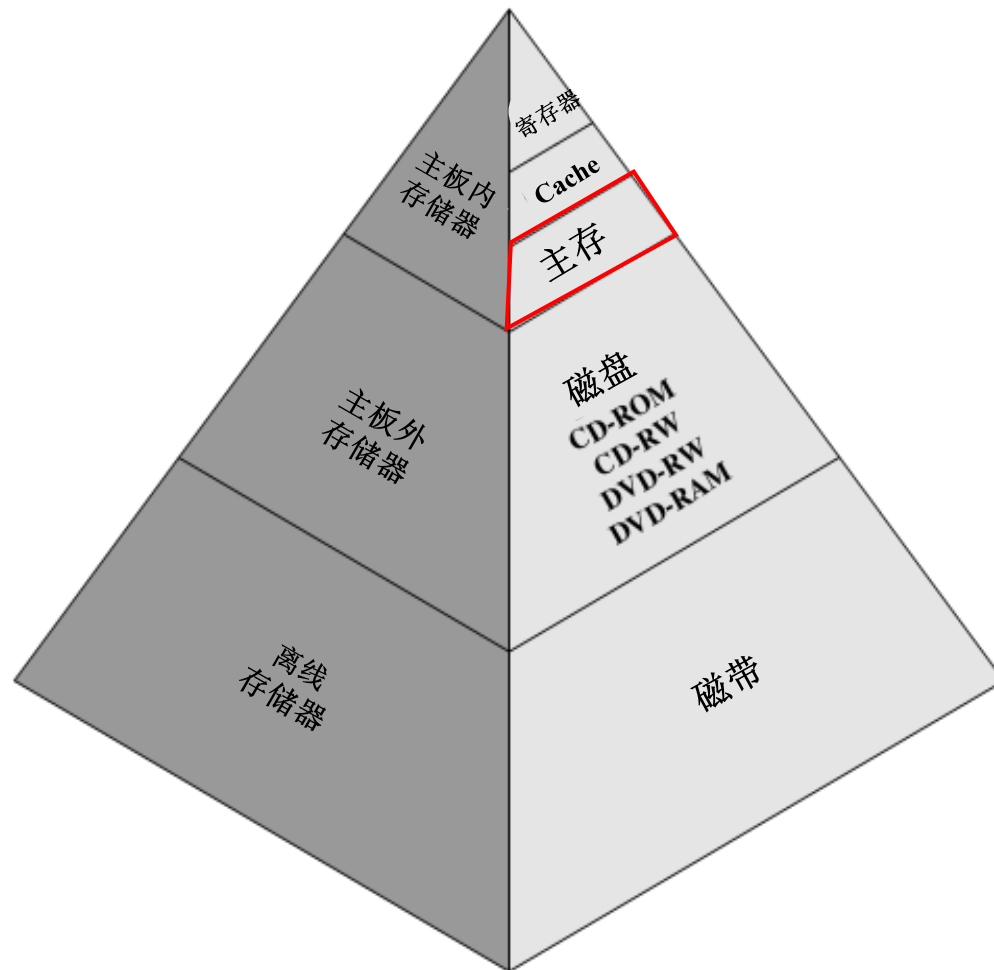
回顾：存储器

存储器（Memory）由一定数量的单元构成，每个单元可以被唯一标识，每个单元都有存储一个数值的能力

- 地址：单元的唯一标识符（采用二进制）
- 地址空间：可唯一标识的单元总数
- 寻址能力：存储在每个单元中的信息的位数
 - 大多数存储器是字节寻址的，而执行科学计算的计算机通常是64位寻址的

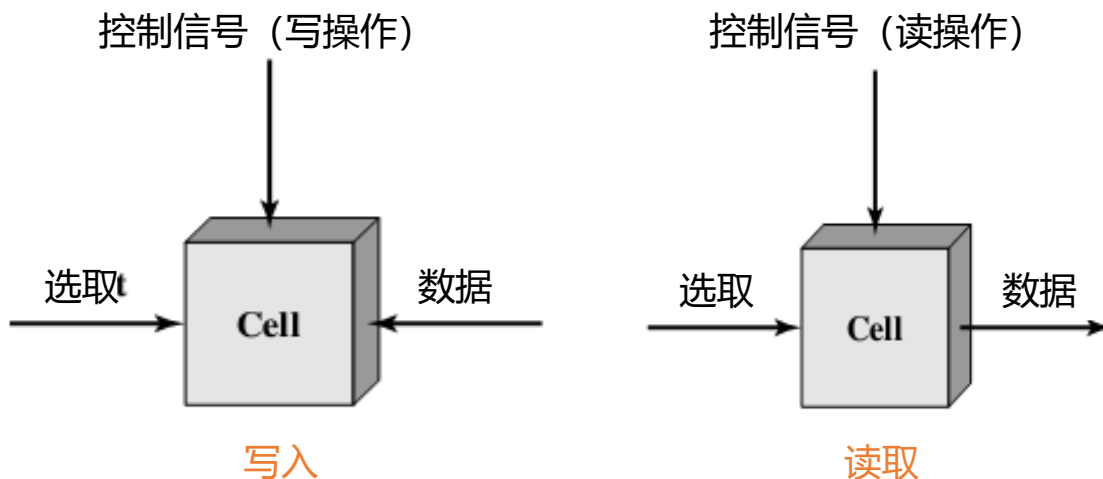


存储器层次结构



半导体存储器

- 用半导体芯片作主存储器是目前的主流做法
- **位元 (memory cell)**
 - 半导体存储器的基本元件，用于存储1位数据
 - 特性
 - 呈现两种稳态（或半稳态）：分别表示二进制的0和1
 - 它们能够至少被写入（write）数据一次：用来设置状态
 - 它们能够被读取（read）来获得状态信息
 - 操作



半导体存储器类型

存储器类型	种类	可擦除性	写机制	易失性
随机存取存储器（RAM）	读-写存储器	电可擦除，字节级	电	易失
只读存储器（ROM）	只读存储器	不可能	掩膜	非易失
可编程ROM（PROM）			电	
可擦除PROM（EPROM）	主要进行读操作的存储器	紫外线可擦除，芯片级		
电可擦除PROM（EEPROM）		电可擦除，字节级		
快闪存储器		电可擦除，块级		



半导体存储器类型

存储器类型	种类	可擦除性	写机制	易失性
随机存取存储器（RAM）	读-写存储器	电可擦除，字节级	电	易失
只读存储器（ROM）	只读存储器	不可能	掩膜	非易失
可编程ROM（PROM）			电	
可擦除PROM（EPROM）	主要进行读操作的存储器	紫外线可擦除，芯片级		
电可擦除PROM（EEPROM）		电可擦除，字节级		
快闪存储器		电可擦除，块级		



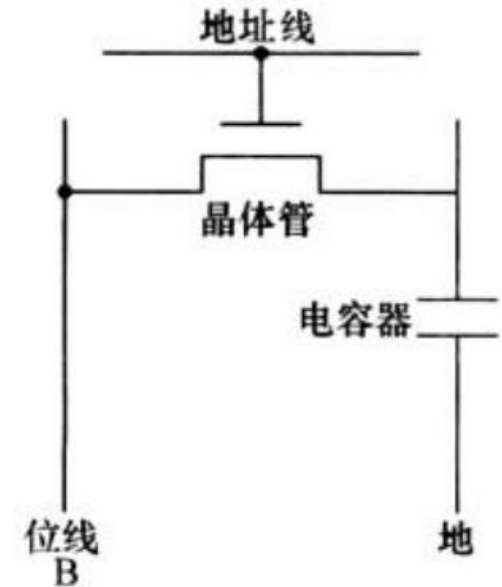
随机存取存储器 (RAM)

- Random-Access Memory (RAM)
- 特性
 - 可以简单快速地进行读/写操作
 - 易失的 (Volatile)
- 类型
 - 动态RAM (DRAM) : Dynamic RAM
 - 静态RAM (SRAM) : Static RAM



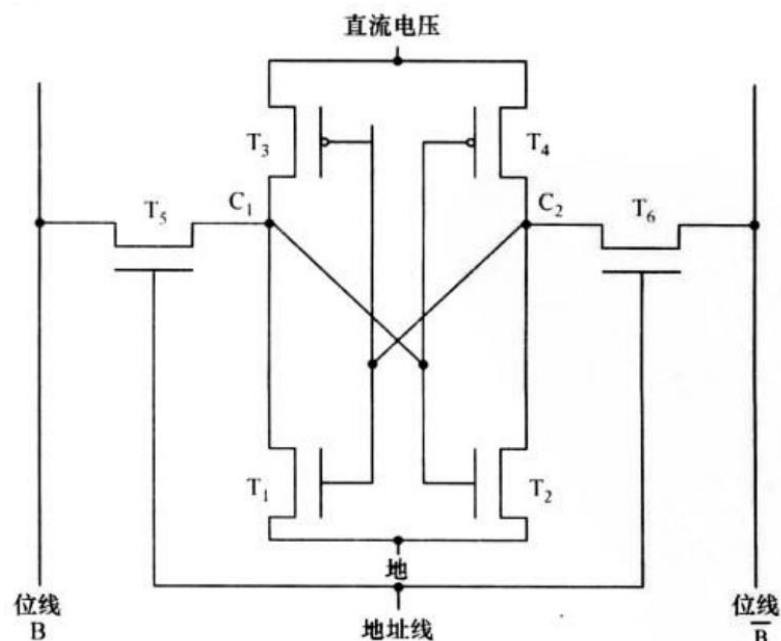
DRAM

- 在电容器上用电容充电的方式存储数据
 - 电容器中有无电荷在分别代表二进制的1与0
- 需要周期地充电刷新以维护数据存储
 - 原因：电容器有漏电的自然趋势
 - 由一个阈值来确定电荷是被解释为1还是0



SRAM

- 使用传统触发器、逻辑门配置来存储二进制值
 - 使用与处理器相同的逻辑元件
- 只要有电源，就可以一直维持数据



DRAM 与 SRAM 的对比

- 相同点
 - 易失的：两者都要求电源持续供电才能保存位值
- 不同点
 - DRAM比SRAM具有更简单、更小的位元，但要求能支持刷新的电路
 - DRAM比相应的SRAM密度更高，价格更低
 - SRAM通常比DRAM快
 - DRAM更倾向于满足大容量存储器的需求，SRAM一般用于高速缓存，DRAM用于主存



高级的DRAM架构

- 问题
 - 传统的DRAM芯片受到其内部架构和与处理器内存总线接口的限制
- 类型
 - 同步DRAM (Synchronous DRAM, SDRAM)
 - 双速率SDRAM (Double-Data-Rate SDRAM, DDR SDRAM / DDR)



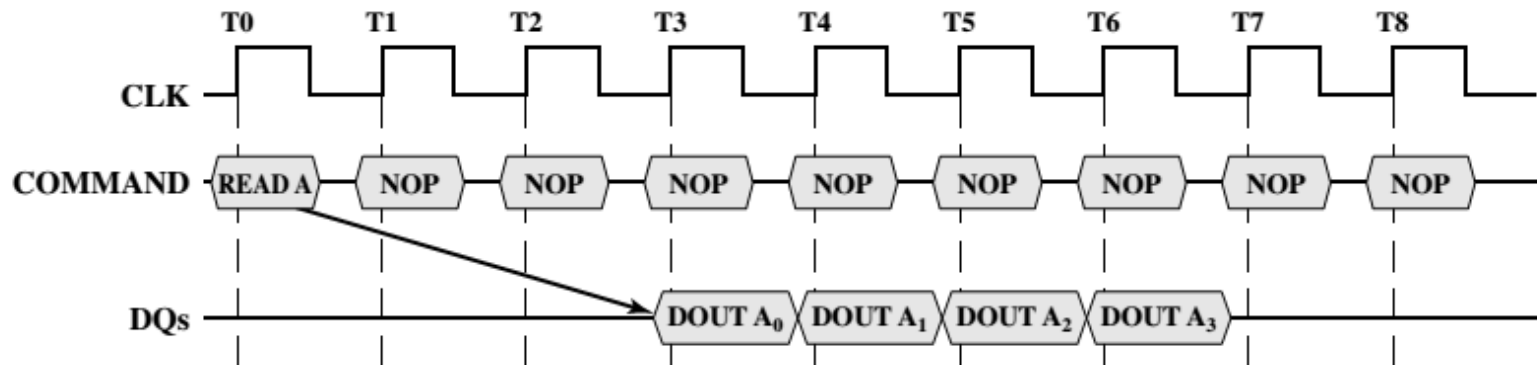
SDRAM

- 传统DRAM是异步的
 - 处理器向内存提供地址和控制信号，表示内存中特定单元的一组数据应该被读出或写入DRAM
 - DRAM执行各种内部功能，如激活行和列地址线的高电容，读取数据，以及通过输出缓冲将数据输出，处理器只能等待这段延迟，即存取时间
 - 延时后，DRAM才写入或读取数据



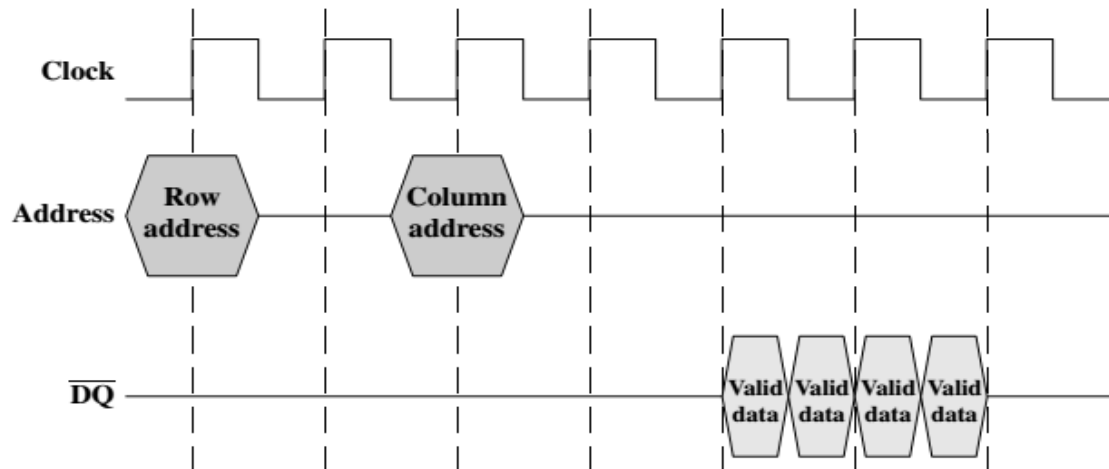
SDRAM (续)

- SDRAM与处理器的数据交互同步与外部的时钟信号，并且以处理器/存储器总线的最高速度运行，而不需要插入等待状态
- 由于SDRAM随系统时钟及时移动数据，CPU知道数据何时准备好，控制器可以完成其它工作



DDR SDRAM

- 每个时钟周期发送两次数据，一次在时钟脉冲的上升沿，一次在下降沿
- DDR → DDR2 → DDR3 → DDR4
 - 增加操作频率
 - 增加预取缓冲区



半导体存储器类型

存储器类型	种类	可擦除性	写机制	易失性
随机存取存储器 (RAM)	读-写存储器	电可擦除, 字节级	电	易失
只读存储器 (ROM)	只读存储器	不可能	掩膜	
可编程ROM (PROM)				
可擦除PROM (EPROM)	主要进行读操作的存储器	紫外线可擦除, 芯片级	电	非易失
电可擦除PROM (EEPROM)		电可擦除, 字节级		
快闪存储器		电可擦除, 块级		



只读存储器 (ROM)

- Read-only memory (ROM)
- 特性
 - 非易失的：不要求供电来维持数据
 - 可读，但不能写入新数据
- 应用
 - 微程序设计，库子程序，系统程序，函数表
- 问题
 - 无出错处理机会：如果有一位出错，整批的ROM芯片只能报废
 - 用户无法写入数据：唯一的数据写入机会在出厂时完成



可编程ROM (PROM)

- Programmable ROM (PROM)
- 特性
 - 非易失的
 - 只能被写入一次
 - 写过程是用电信号执行
 - 需要特殊设备来完成写或“编程”过程
- 与ROM的对比
 - PROM提供了灵活性和方便性
 - ROM在大批量生产领域仍具有吸引力



半导体存储器类型

存储器类型	种类	可擦除性	写机制	易失性
随机存取存储器 (RAM)	读-写存储器	电可擦除, 字节级	电	易失
只读存储器 (ROM)	只读存储器	不可能	掩膜	
可编程ROM (PROM)				
可擦除PROM (EPROM)	主要进行读操作的存储器	紫外线可擦除, 芯片级	电	非易失
电可擦除PROM (EEPROM)		电可擦除, 字节级		
快闪存储器		电可擦除, 块级		



主要进行读操作的存储器

- Read-Mostly Memory
- 特性
 - 非易失的
 - 写操作与读操作相比，较为困难
- 应用
 - 读操作比写操作频繁得多的场景
- 类型
 - EPROM
 - EEPROM
 - Flash memory



光可擦除/可编程只读存储器 (EPROM)

- Erasable programmable read-only memory (EPROM)
- 特性
 - 光擦除
 - 擦除：在写操作前将封装芯片暴露在紫外线下
 - 所有的存储单元都变回相同的初始状态
 - 每次擦除需要约20分钟
 - 电写入
- 与PROM对比
 - EPROM更贵，但具有可多次改写的优点



电可擦除/可编程只读存储器 (EEPROM)

- Electrically erasable programmable read-only memory (EEPROM)
- 特性
 - 可以随时写入而不删除之前的内容
 - 只更新寻址到的一个或多个字节
 - 写操作每字节需要几百微秒
- 与EPROM对比
 - EEPROM更贵，且密度低，支持小容量芯片



快闪存储器

- Flash Memory
- 特性
 - 电可擦除：与EEPROM相同，优于EPROM
 - 擦除时间为几秒：优于EPROM，不如EEPROM
 - 可以在块级擦除，不能在字节级擦除：优于EPROM，不如EEPROM
 - 达到与EPROM相同的密度：优于EEPROM
- 与EPROM、EEPROM对比
 - 价格和功能介于EPROM和EEPROM之间

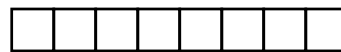


从位元到主存：寻址单元

- 寻址单元 (Addressable unit) : 由若干相同地址的位元组成
- 寻址模式
 - 字节 (Byte) : 常用
 - 字 (Word)



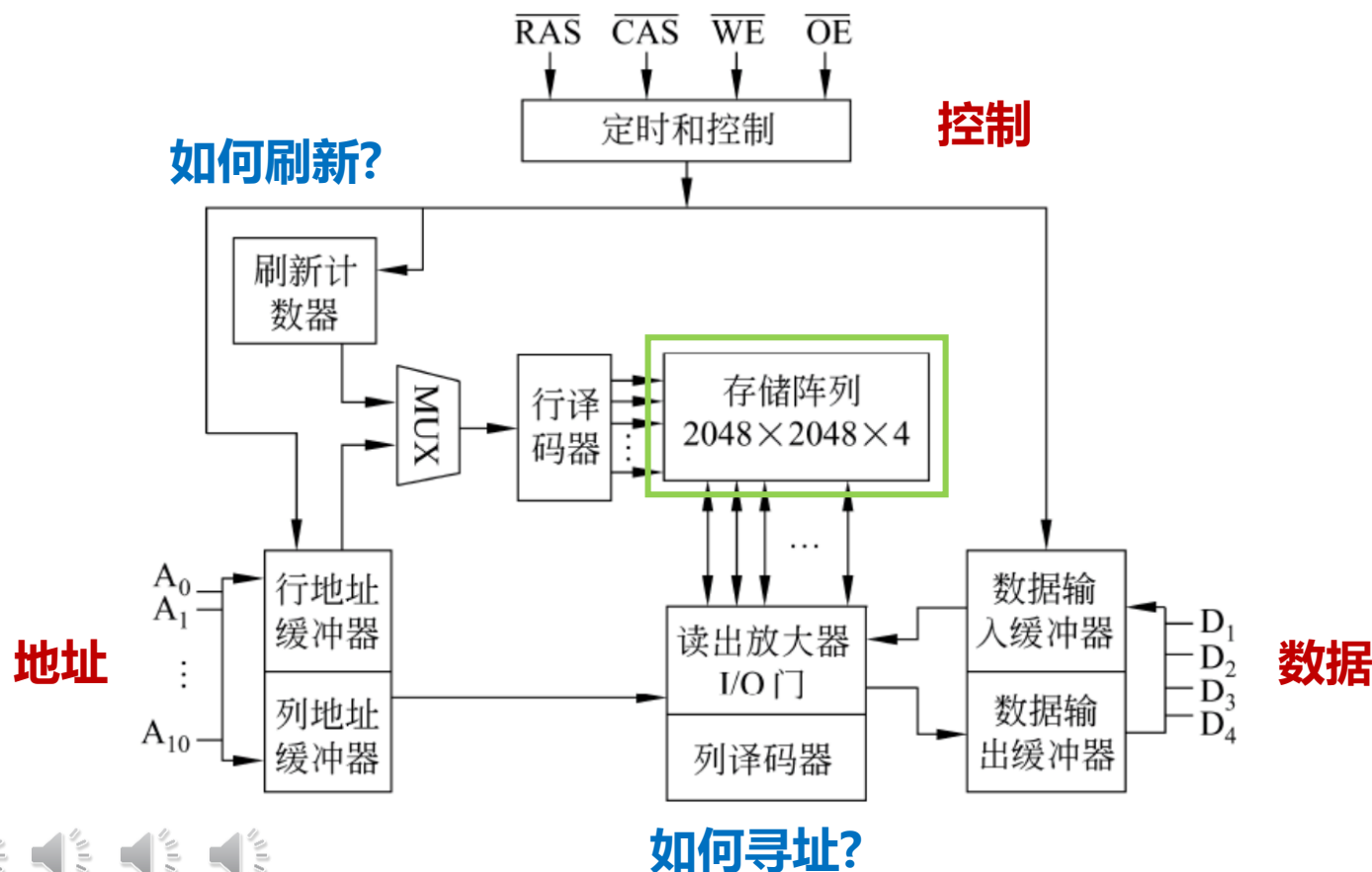
位元



寻址单元

从位元到主存：存储阵列

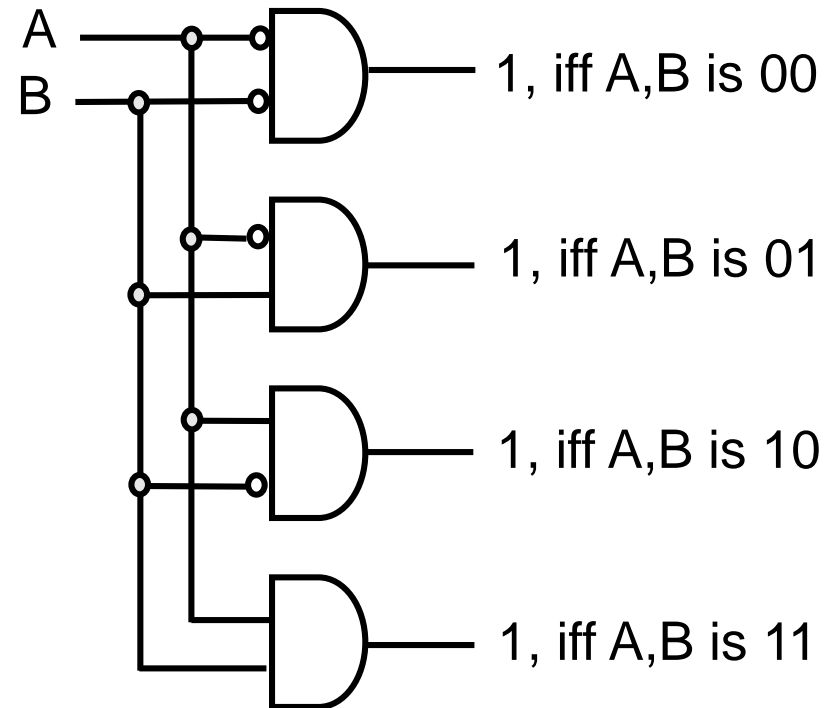
- 存储阵列（Memory Array）：由大量寻址单元组成



如何寻址

- 地址译码器

- 一个 n 位译码器有 2^n 种输出.
- 当所有 n 个寻址位都满足条件时, 该输出为1
- 任何时候, 只有一个输出是1, 其他的都是0



2位译码器

如何刷新

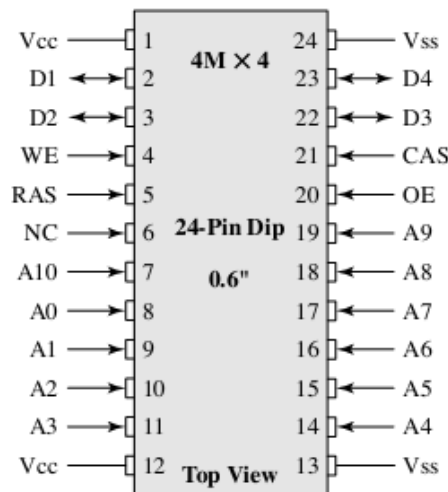
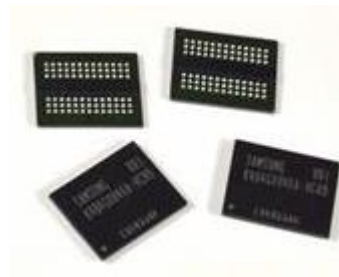
- 集中式刷新 (Centralized refresh)
 - 停止读写操作，并刷新每一行
 - 刷新时无法操作内存
- 分散式刷新 (Decentralized refresh)
 - 在每个存储周期中，当读写操作完成时进行刷新
 - 会增加每个存储周期的时间
- 异步刷新 (Asynchronous refresh)
 - 每一行各自以64ms间隔刷新
 - 效率高：常用



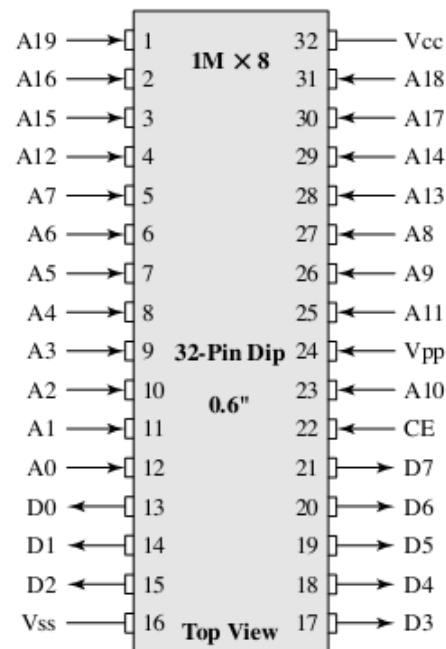
从位元到主存：芯片

- 芯片引脚

- Address: A0 – A19
- Data: D0 – D7
- Vcc: 电源
- Vss: 地线
- CE: 芯片允许引脚
- Vpp: 程序电压
- WE: 写允许
- OE: 读允许
- RAS: 行地址选通
- CAS: 列地址选通



16-Mbit DRAM

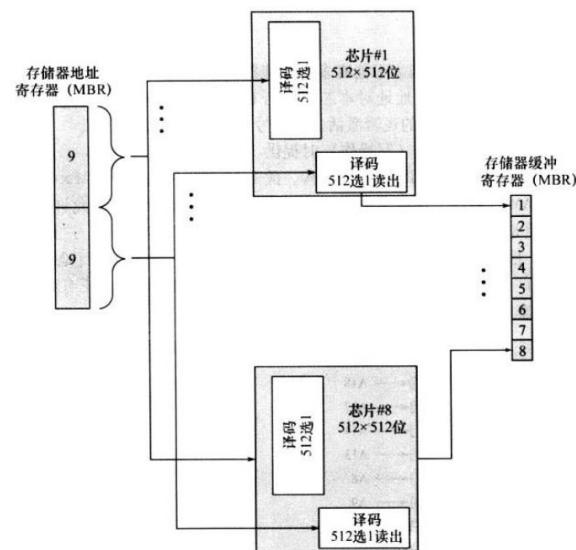


8-Mbit EPROM

从位元到主存：模块组织

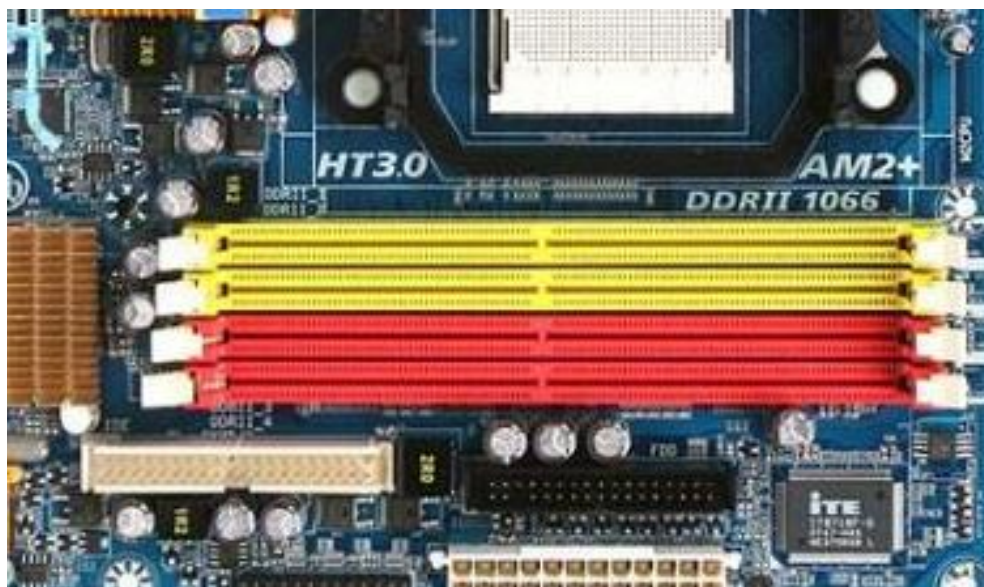
- 模块组织

- 位扩展：地址线不变，数据线增加
 - 使用 8 块 $4K \times 1$ bit 的芯片组成 $4K \times 8$ bit 的存储器
- 字扩展：地址线增加，数据线不变
 - 使用 4 个 $16K \times 8$ bit 的芯片组成 $64K \times 8$ bit 的存储器
- 字、位同时扩展：地址线增加，数据线增加
 - 使用 8 个 $16K \times 4$ bit 的芯片组成 $64K \times 8$ bit 的存储器



从位元到主存：主存

- 插槽
 - 组合多个存储模块



总结

- 半导体存储器
 - 读-写存储器：RAM
 - DRAM vs. SRAM
 - DRAM → SDRAM, DDR
 - 只读存储器：ROM, PROM
 - 主要进行读操作的存储器：EPROM, EEPROM, flash memory
- 从位元到主存
 - 位元 → 寻址单元 → 存储阵列 → 芯片 → 模块组织 → 主存



谢谢

rentw@nju.edu.cn



南京大學
NANJING UNIVERSITY