

Altium®

# 常用存储器的PCB设计

2023

林超文  
EDA技术总监



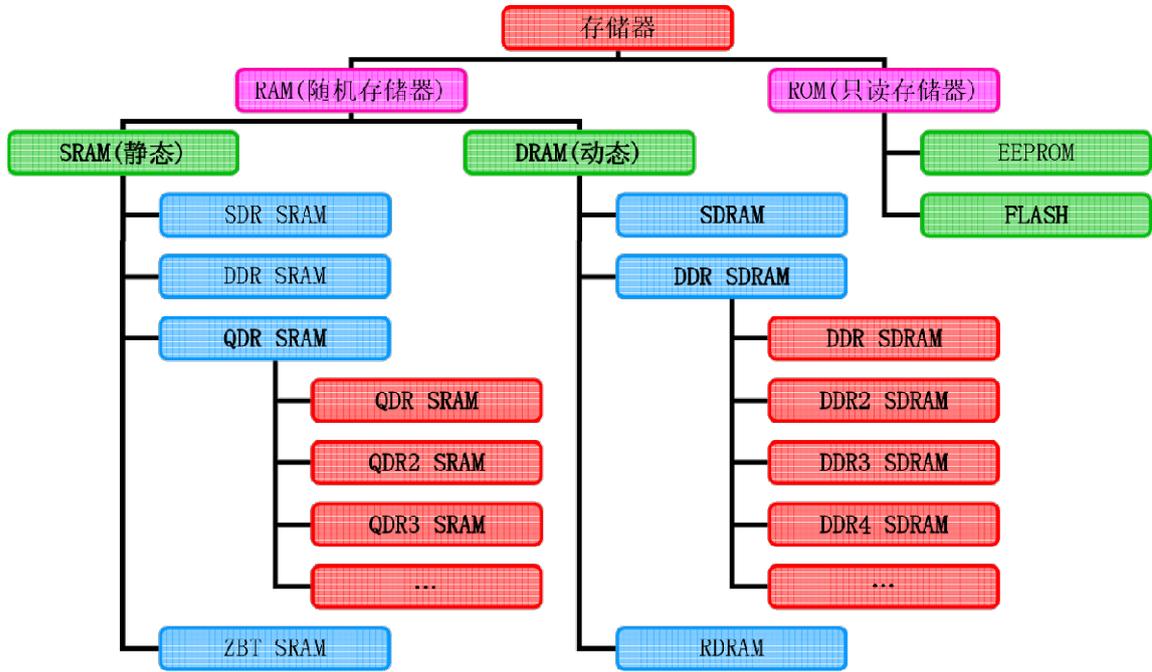
## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM

Altium®



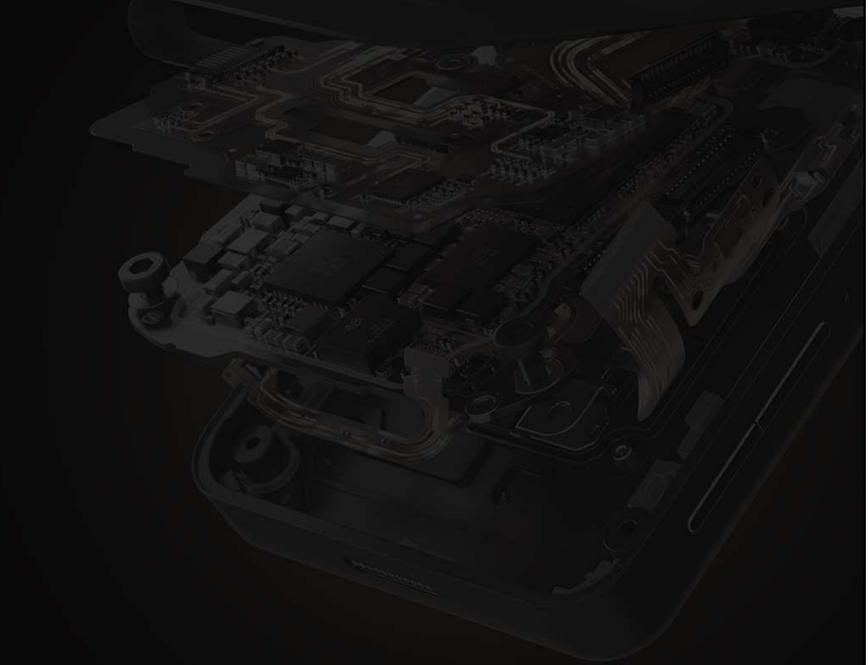
# 常用存储器分类



## Agenda



- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM



## 只读存储器ROM-FLASH

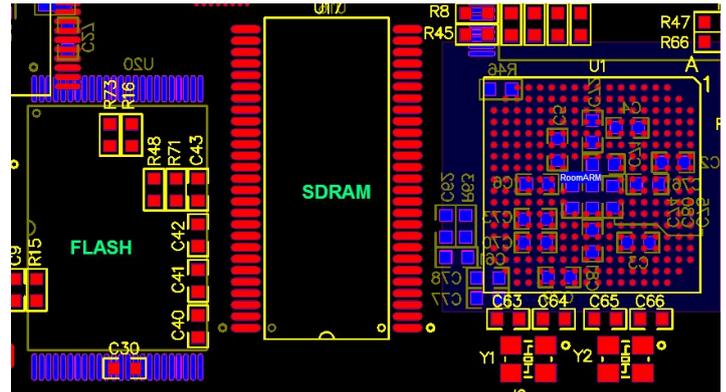
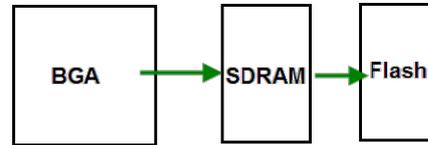


### FLASH特点

- 速率较低, 通常在50Mhz以下
- 静态存储

### 布局

- 一般采用菊花链
- Flash和SDRAM的推荐距离为500-1000mil

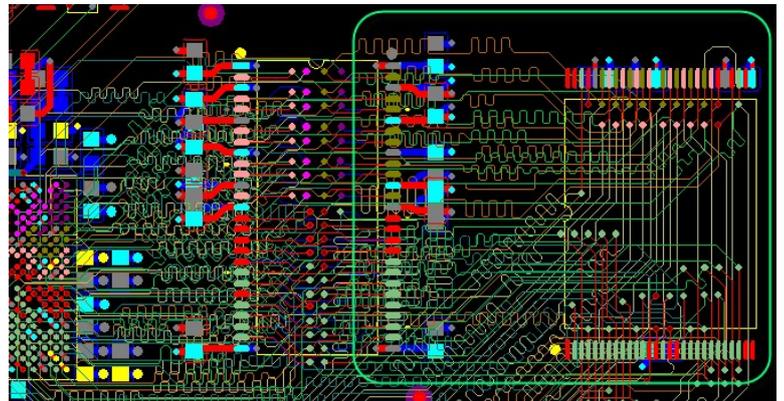
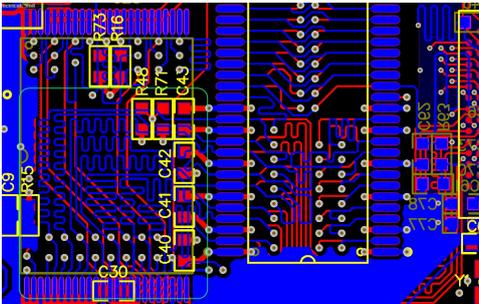


## 只读存储器ROM-FLASH



### 布线

- 特性阻抗:50欧
- 线间距3W
- 等长范围:+/-100mil



## 只读存储器ROM-EEPROM电路概述



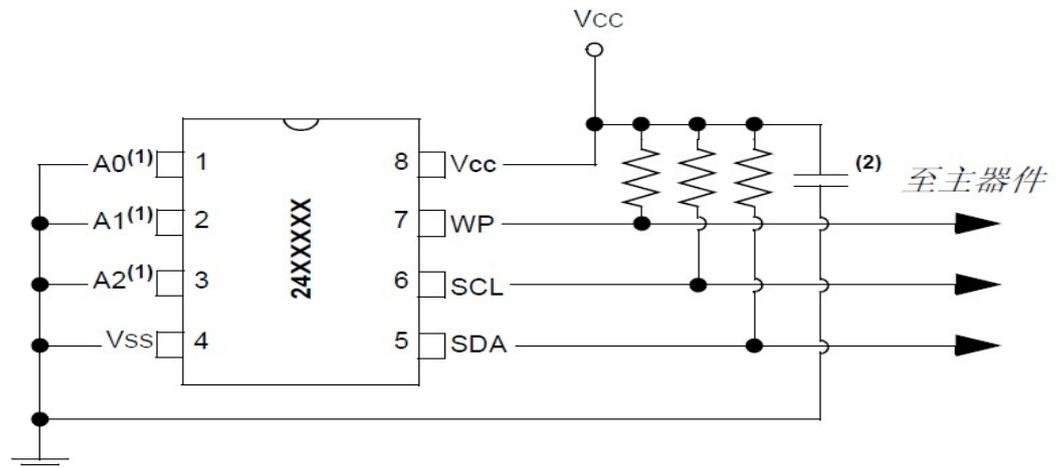
### ► EEPROM

EEPROM（电可擦可编程只读存储器）这是一种具有可擦除功能，擦除后即可进行再编程的ROM内存，一种掉电后数据不丢失的存储芯片，EEPROM可以在电脑上或专用设备上擦除已有信息，重新编程。这类芯片一般用于即插即用。

## 只读存储器ROM-EEPROM典型电路



### ► 典型连接方式



- 1.在某些器件中，引脚A0，A1，A2在内部未连接
- 2.应使用一个去耦合电容（通常为0.1UF）来帮助滤除VCC上的小纹波

## 只读存储器ROM-EEPROM典型电路

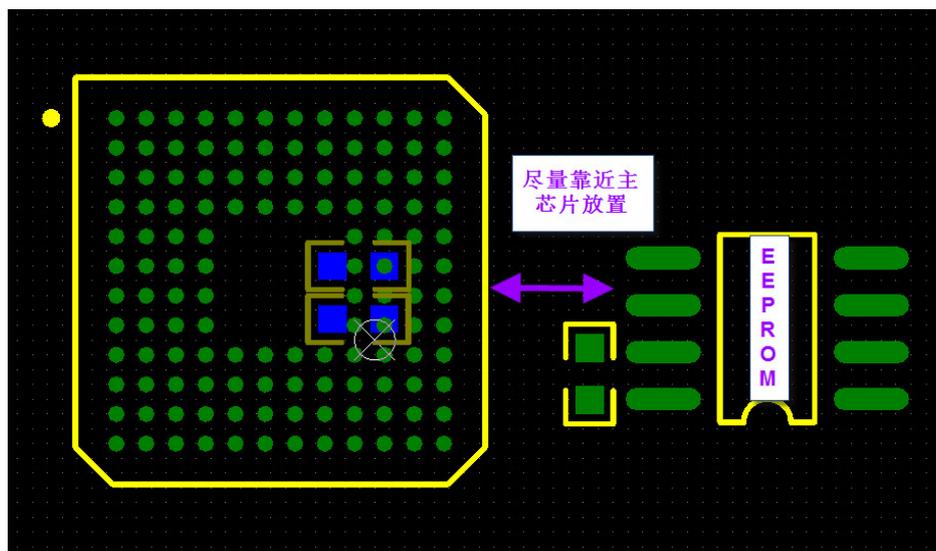


- 1.2.3: A0 A1 A2 器件地址选择
- 5: SDA 串行数据, 地址
- 6: SCL 串行时钟
- 7: WP 写保护
- 8: VCC +1.8V~6.0V工作电压
- 管脚定义

## 只读存储器ROM-EEPROM布局要求



- 靠近主芯片放置, 使距离尽量短

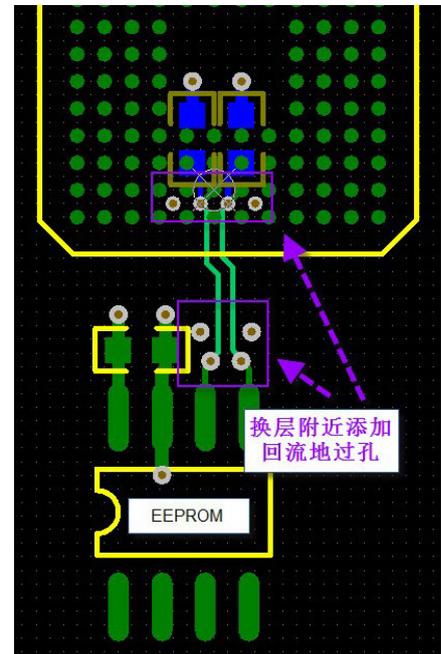


## 只读存储器ROM-EEPROM布线要求



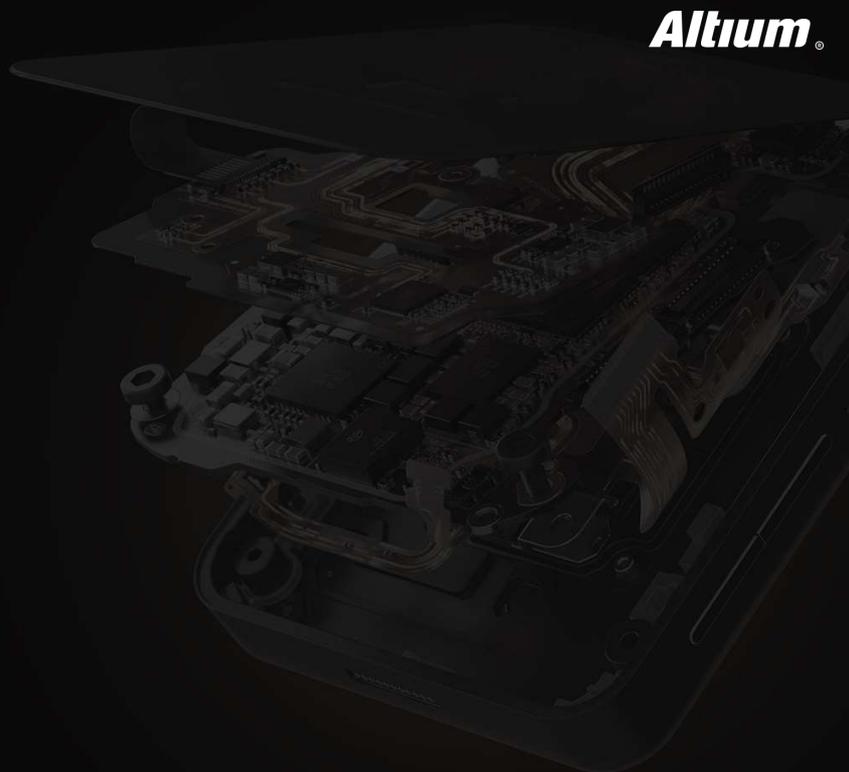
### ▶ EEPROM电路布线要求

- (1) 控制50欧姆阻抗。
- (2) 两根线并行走，与其他信号线保持3W以上的间距。
- (3) 尽量在表层走线；如需换层，需要有完整的参考平面，保持阻抗连续性；并保证过孔数量不超过3个。  
且在换层处100mil以内添加一个或者两个回流地过孔。



## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM（同步动态随机存储器）

#### ➤ 管脚定义解释

信号名。	功能描述。
CLK。	时钟。
CKE。	时钟使能。
CS#。	片选。
WE#。	读写。
RAS#。	列选。
CAS#。	行选。
DQM。	数据掩码。
BA0, BA1。	Bank 选择。
A0-A11。	地址。
DQ0-DQ15。	数据（输出）。
VDDQ。	DQ 电源。
VSSQ。	DQ 地。
VDD。	电源。
VSS。	地。

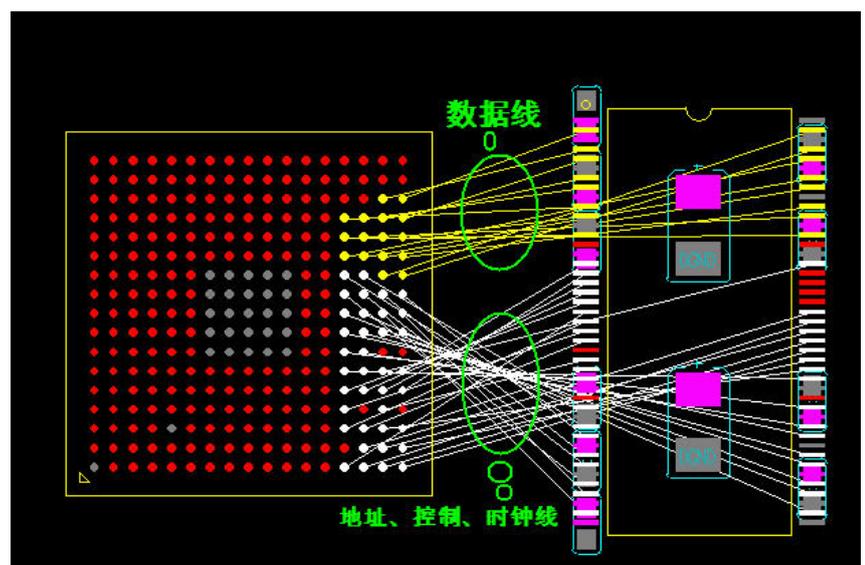
## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的布局原则：

靠近CPU放置

- SDRAM X 1片时：点对点的布局方式
- SDRAM到CPU的中心距离为：
  - 当中间无排阻时：900-1000mil
  - 当中间有排阻时：1000-1300mil



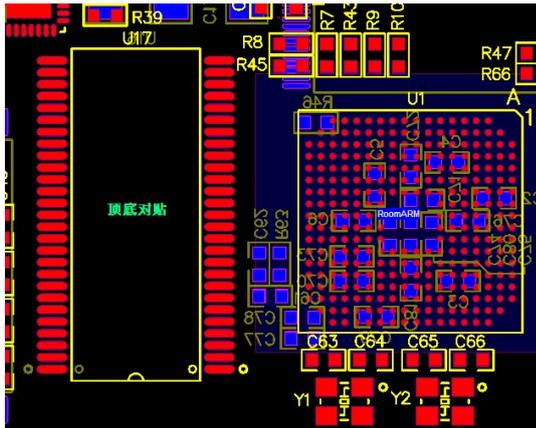
## 随机存储器-动态RAM SDRAM



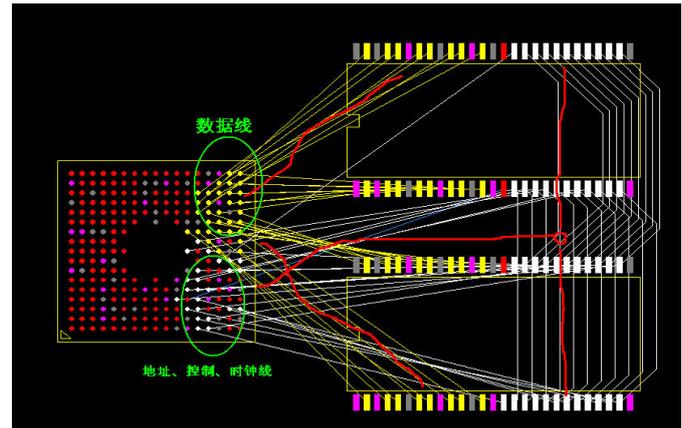
### ➤ SDRAM的布局原则:

- SDRAM X 2片时: 相对于CPU严格对称

方案一: 顶底对贴 (推荐)



方案二: 与CPU放在同一面



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的布线

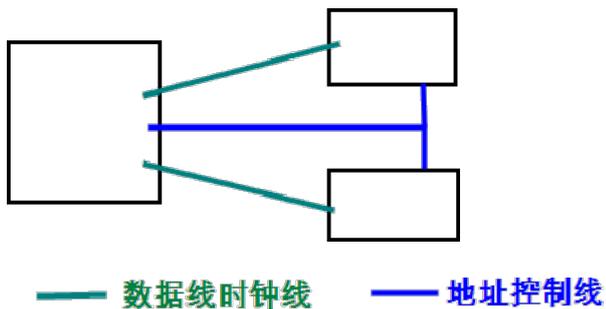
- 特性阻抗: 50欧姆
- 数据线每9根尽量走在同一层(D0~D7,LDQM;D8~D15,HDQM)
- 数据线、地址(控制)线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W
- 空间允许的情况下,应该在它们走线之间加一根地线进行隔离。地线宽度推荐为15-30mil
- 完整的参考平面
- 布线拓扑结构(默认采用远端分支)-T点(过孔)打在两片SDRAM中间

## 随机存储器-动态RAM SDRAM

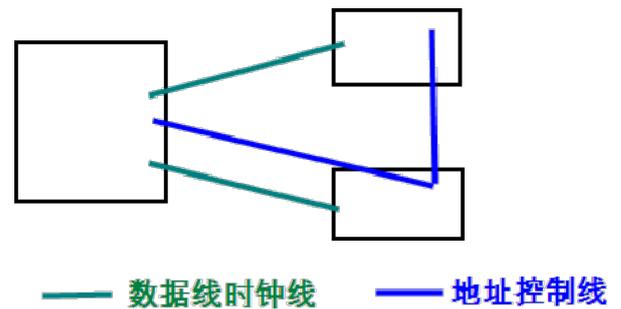


### ➤ SDRAM的拓扑结构

远端分支(星形/T形)



菊花链



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的等长布线

#### ➤ Class规则:

将所有数据线设为s dram\_data\_bus;

地址线,控制线,时钟线设为s dram\_addr\_bus

#### ➤ 等长规则:

所有信号线参照时钟线的长度等长

#### ➤ 误差范围:

数据线误差范围控制在+/- 50mil

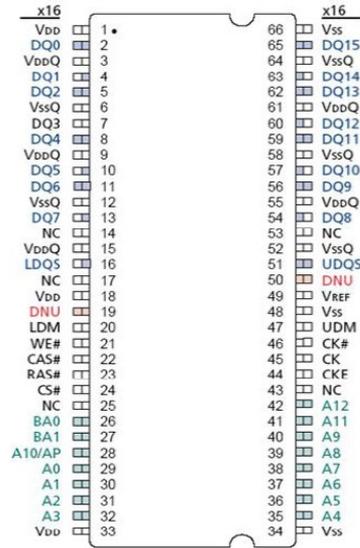
地址线误差范围控制在+/- 100mil

# 随机存储器-动态RAM DDR



## DDR的设计

### 管脚定义解释



DDR SDRAM 封装结构图

管脚数	信号名	功能描述
2	CK, CK#	全局时钟输入。
1	CKE	时钟使能信号输入。
1	CS#	片选信号输入。
3	RAS#, CAS#, WE#	命令信号输入。
2	LDM, UDM	数据 mask 信号输入。
13*	A<0..12>	地址信号输入。
2	BA0, BA1	BANK 选择信号输入。
16*	DQ<0..15>	数据信号输入/输出。
2	LDQS, UDQS	数据锁存信号输入/输出。
5*	NC	空引脚。
2	DNU	不使用引脚。
5	VDDQ	DQ 电源电压 (2.5V)。
5	VSSQ	DQ 地。
3	VDD	器件电源电压 (2.5V)。
3	VSS	器件地。
1	VREF	SSTL_2 参考电压。

DDR SDRAM 管脚功能说明

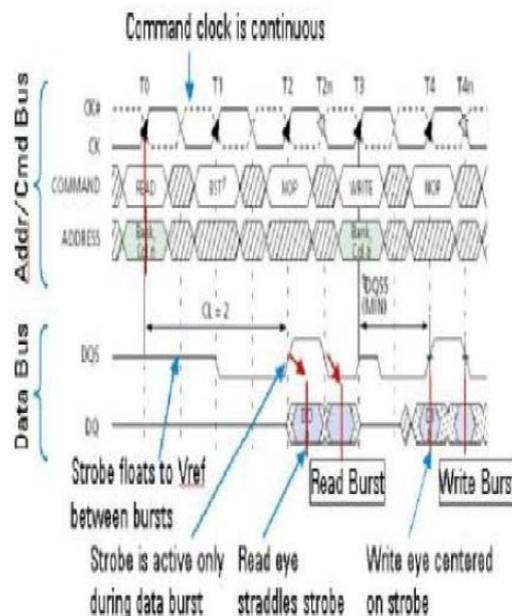
# 随机存储器-动态RAM DDR



## DDR的设计

### 工作原理:

- 一. DDR的读写操作时序如图所示。图中，命令信号与地址信号参考CK信号上升沿输入到DDR。
- 二. 读数据时DQ随着DQS并参考DQS信号沿输出，写数据时DQ随着DQS并参考DQS的信号沿输入，读写数据时DQS都是双沿有效。
- 三. 读数据时，输出的DQS由送入DDR的差分时钟CK/CK#使用DDR存储器中的一个DLL生成DQS，并使之与输出数据对齐。
- 四. 虽然DDR存储器不用差分输入时钟来发送或接收数据，但是所用DQS信号与输入时钟的频率有关。

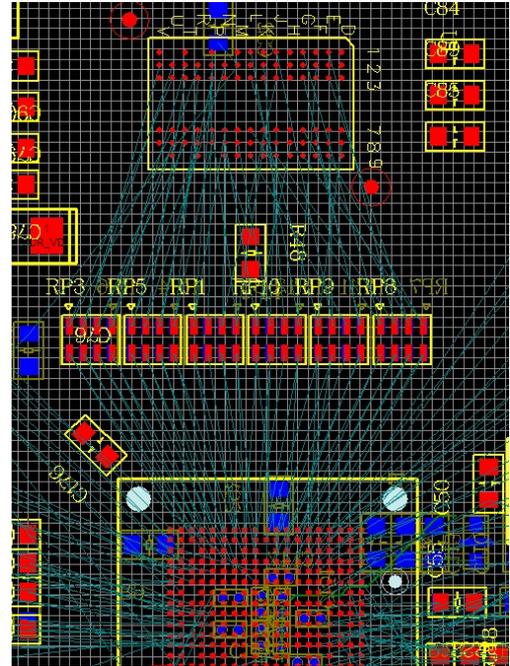


# 随机存储器-动态RAM DDR



## ➤ DDR的布局

- 布局原则是：靠近CPU摆放
- DDRx1片时，点对点的布局方式
- DDR到CPU推荐的中心距离：
  - 当中间无排阻时：900-1000mil
  - 当中间有排阻时：1000-1300mil

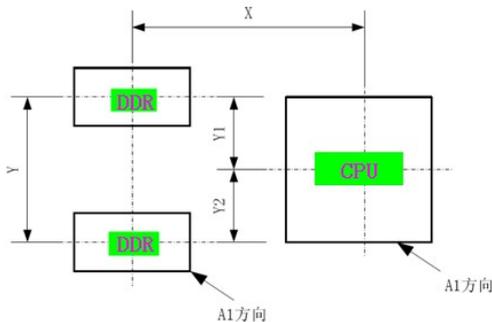


# 随机存储器-动态RAM DDR

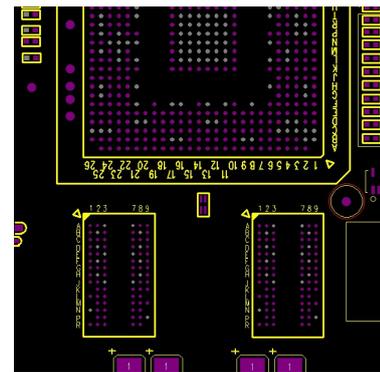


## ➤ DDR的布局

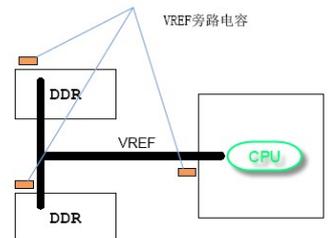
- DDRx2片时,相对于CPU严格对称



- $X < 1660\text{mil}$
- $Y < 1280\text{mil}$
- $Y1 = Y2 < 650\text{mil}$



## ➤ VREF电容的位置



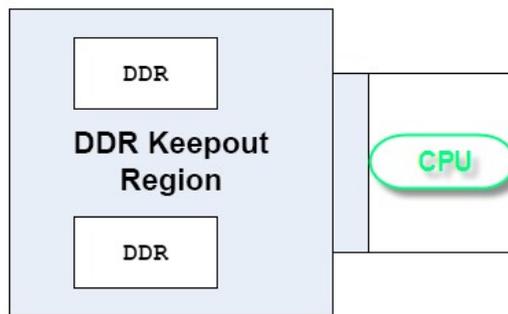
## 随机存储器-动态RAM DDR



### ➤ DDR保护区域

DDR2 保护区域 (Keepout Region): DDR2 内存组, 所有同 DDR 相关的阻容电路, 一直向 CPU 方向延伸至 CPU 的 DDR 控制器, 称为 DDR 保护区域 (DDR Keepout Region)。这个区域里需满足以下条件:

- 不得出现与 DDR 无关的信号。
- 必须提供完整的地平面 (信号线下方地平面不得中断)。
- 必须提供完整的 VCC\_1V8 电源平面 (信号线下方电源平面不得中断)。



## 随机存储器-动态RAM DDR



- 特性阻抗:单端50欧,差分100欧
- 数据线每10根尽量走在同一层 (D0~D7,LDM,LDQS)( D8~D15,UDM,UDQS )

- 信号线的间距满足3W原则

### ➤ DDR的布线

- 数据线、地址 (控制) 线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W
- 完整的参考平面
- VREF电源走线推荐  $\geq 20 \sim 30$ mil
- 误差范围:  
差分对误差严格控制在5mil  
数据线误差范围控制在  $\pm 25$ mil  
地址线误差范围控制在  $\pm 100$ mil

## 随机存储器-动态RAM DDR



### Class规则

将数据类设为2组Class(D0~D7,LDM,LDQS)(D8~D15,UDM,UDQS);  
地址线,控制线,时钟线设为1组Class

### DDRx1片的等长布线

#### 等长规则:

所有信号线参照时钟线的长度等长

#### 误差范围:

数据线误差范围控制在 $\pm 25\text{mil}$

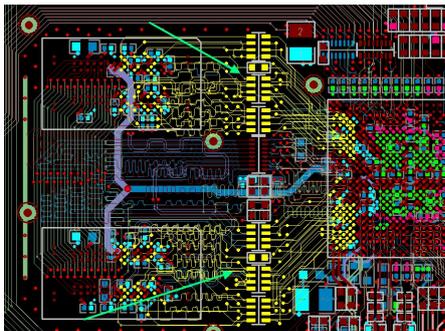
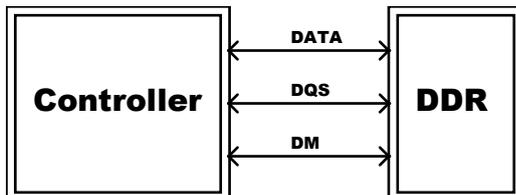
地址线误差范围控制在 $\pm 100\text{mil}$

## 随机存储器-动态RAM DDR

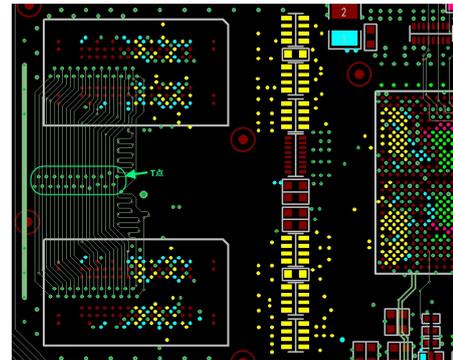
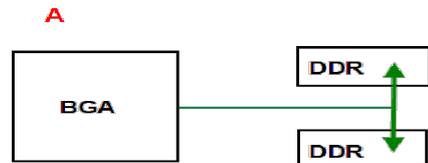


### DDRx2片的等长布线

#### 数据类拓扑结构:点到点



#### 地址类拓扑结构:星形

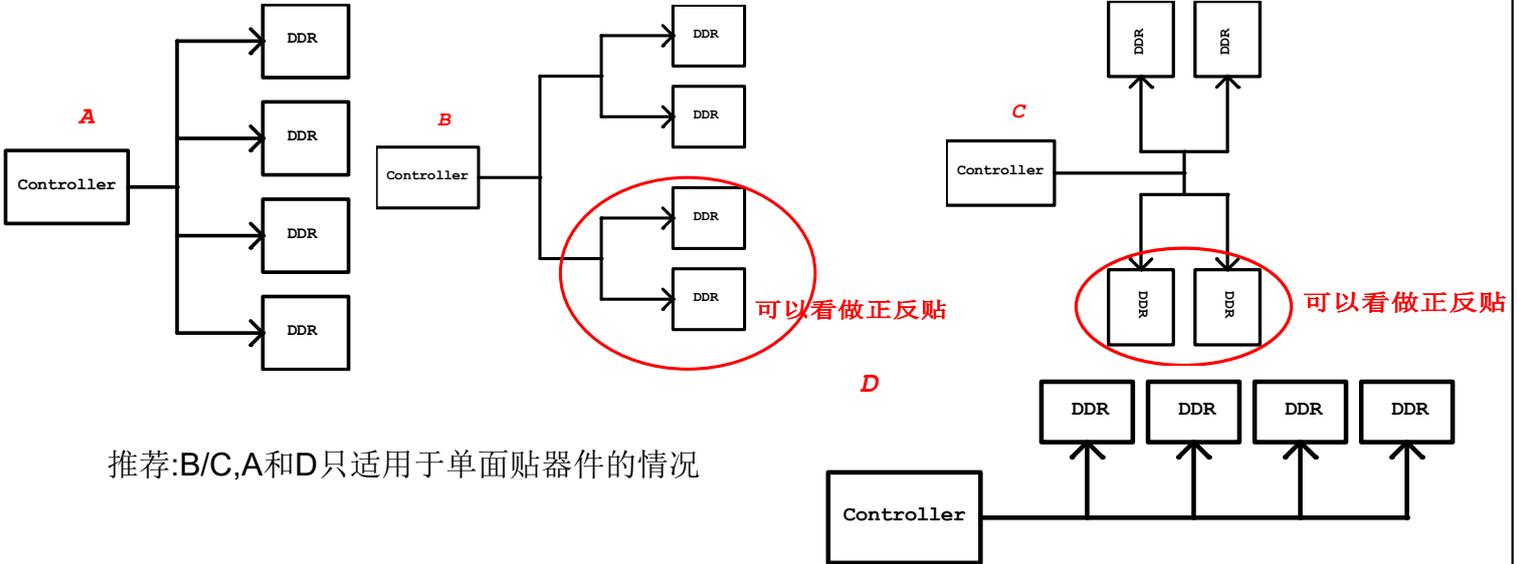


# 随机存储器-动态RAM DDR



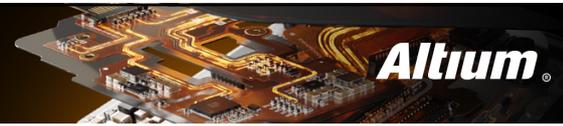
## DDRx4片的等长布线

仍然可以套用两片时的拓扑，只是将树或者星做大



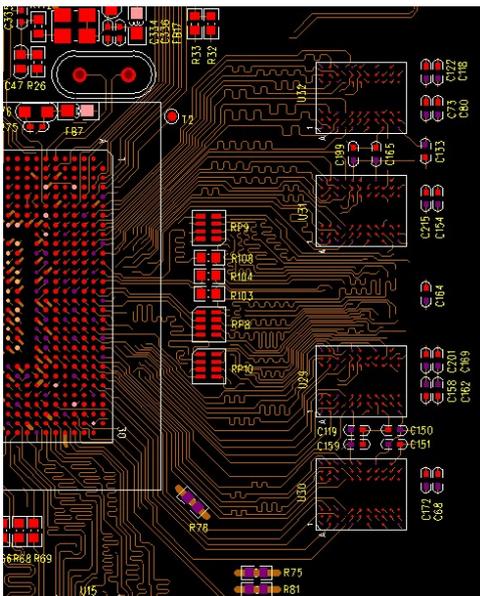
推荐:B/C,A和D只适用于单面贴器件的情况

# 随机存储器-动态RAM DDR

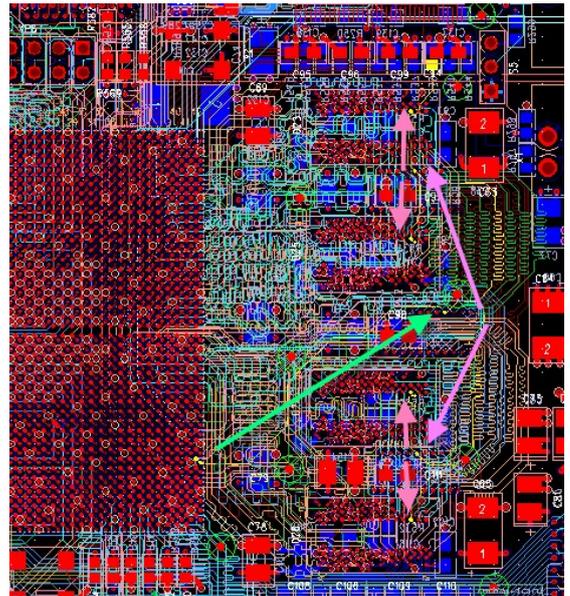


## DDRx4片的等长布线

A型



B型

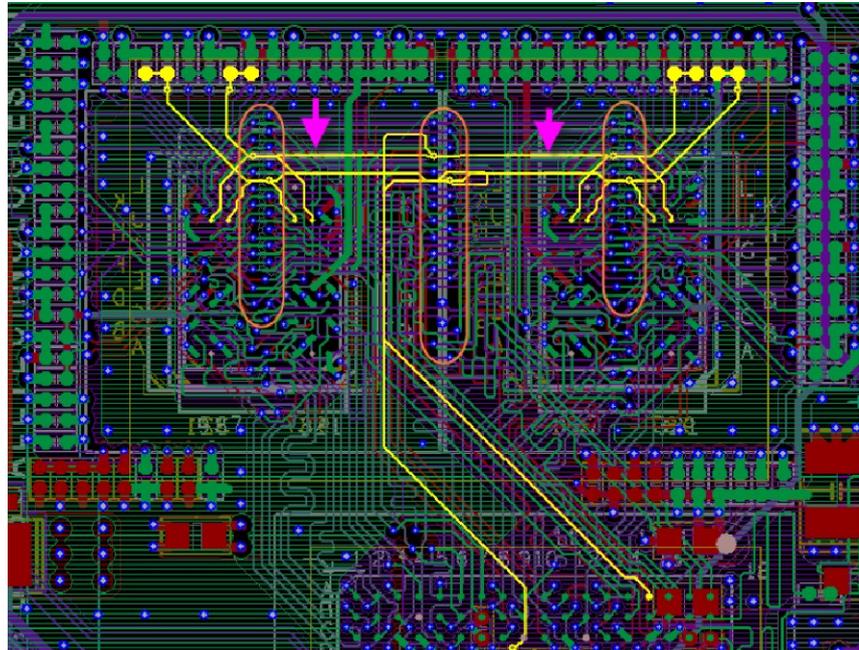


# 随机存储器-动态RAM DDR



➤ DDRx4片的等长布线

C型

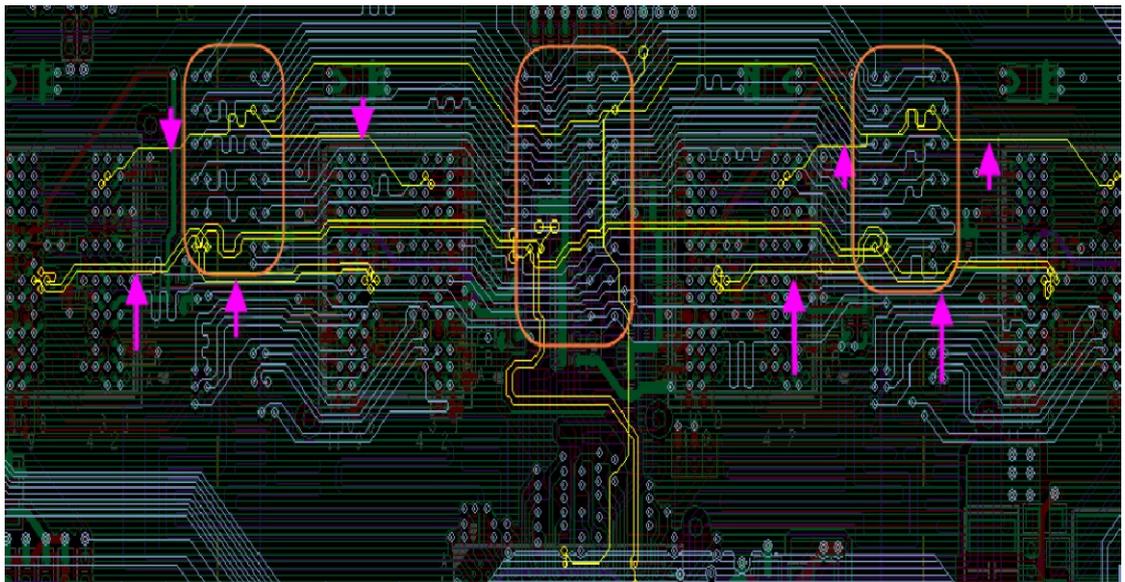


# 随机存储器-动态RAM DDR

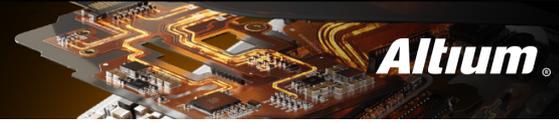


➤ DDRx4片的等长布线

D型



# 随机存储器-动态RAM DDR



## ➤DDR的时序设计

➤DDR(采用树形或者星型拓扑)

DQSL/DQ SH	严格等长设计，误差控制在 ± 25mil		尽量控制等长
DQ0~DQ16			
DQML/DQ MH			
CLK/CLK#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
A0~A11	等长设计，控制在 ± 100mil		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

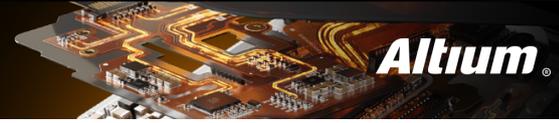
# 随机存储器-动态RAM DDR2



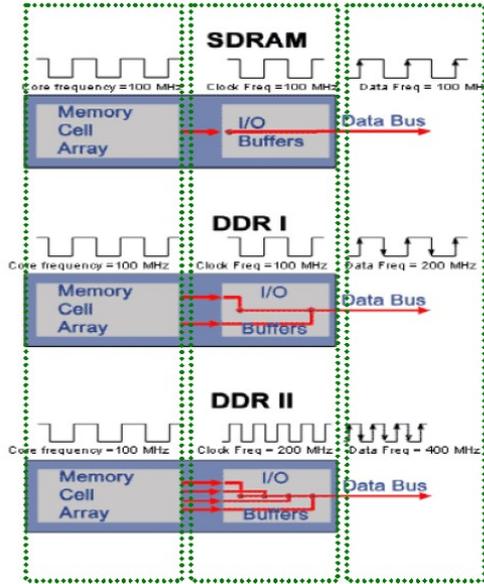
## ➤DDR VS DDR2

Memory Type	DDR	DDR2
Core Voltage(VDD)	2.5V	1.8V
I/O Voltage (VDDQ)	SSTL_2(2.5V)	SSTL_1.8(1.8)
Data Rate	200/266/333/400Mbps	400/533/667/800Mbps
Bus Frequency	100/133/166/200MHz	200/266/333/400MHz
Core Frequency	100/133/166/200MHz	100/133/166/200MHz
Pre-fetch	2-bit	4-bit
Burst Length	2/4/8	4/8
Data Strobe	Single DQS	Differential DQS, /DQS
Write Latency	1 clock	(Read Latency-1) clock
CAS Latency	1.5, 2, 2.5	3, 4, 5
Package	x4/x8/x16: 66-pin TSOP(II) x4/x8/x16: 60-ball FBGA	x4/x8: 60 ball FBGA x16: 84 ball FBGA
New Features		OCD ODT Posted CAS

# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR VS DDR2



Item	DDR2 SDRAM	DDR SDRAM	SDR SDRAM
Prefetch	4 bit	2 bit	1 bit
Internal bus operating frequency	100MHz	100MHz	100MHz
External clock frequency	200MHz	100MHz	100MHz
Data bus speed	400Mbps	200Mbps	100Mbps

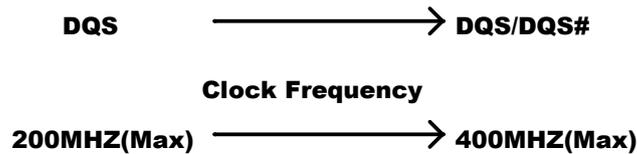
# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的设计

### ➤ DDR新特性:

DDR2可以看做DDR的升级，由于DDR的内部设计使得I/O口的速率最高只能达到200Mhz,而DDR2最高可以提高到400Mhz，也就是DDR2比DDR提高了一倍的速率。在信号管脚上变化的主要是将单端的DQS信号变成了差分的DQS和DQS#。

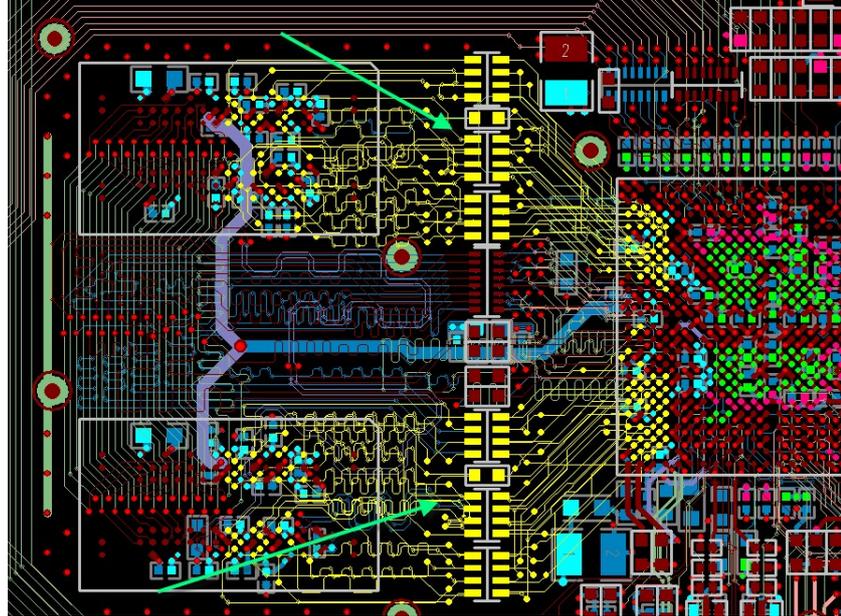


# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的布局

➤ 布局思路同DDR

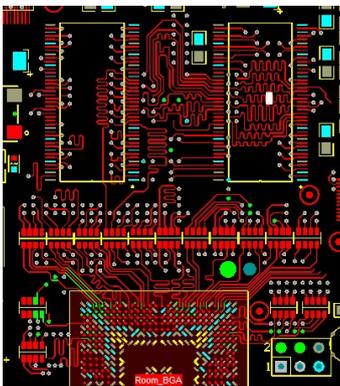


# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2数据匹配电阻的布局

➤ 数据匹配电阻应靠近DDR. 布线也会容易些。  
(数据线是双向传输的，有的核心不一定有ODT功能. 如有ODT功能匹配电阻放那边都没有问题, 当核心没有ODT功能匹配电阻靠CPU就有问题, 所以综合考虑匹配电阻应靠DDR放置)



左图SDRAM的数据线排阻应近SDRAM直接接上可以减少过孔.

Figure 8-11 shows the topology and routing for the DQS and DQ net classes; the routes are point to point. Skew matching across bytes is not needed nor recommended.

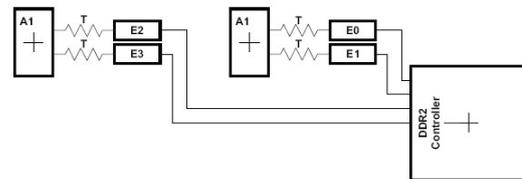


Figure 8-11. DQS and DQ Routing and Topology

Table 8-12. DQS and DQ Routing Specification

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	Center-to-center DQS-DQSn spacing in E0/E1/E2/E3			2w	
2	DQS-DQSn skew in E0/E1/E2/E3			25	Mils
3	Center-to-center DQS to other DDR2 trace spacing <sup>(1)</sup>	4w			
4	DQS/DQ nominal trace length <sup>(2)(3)(4)</sup>	DQLM-50	DQLM	DQLM+50	Mils
5	DQ-to-DQS skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils
6	DQ-to-DQ skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils
7	DQ-to-DQ/DQS via count mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			1	Vias
8	Center-to-center DQ to other DDR2 trace spacing <sup>(1)(5)</sup>	4w			
9	Center-to-center DQ to other DQ trace spacing <sup>(1)(6)(7)</sup>	3w			
10	DQ/DQS E skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils

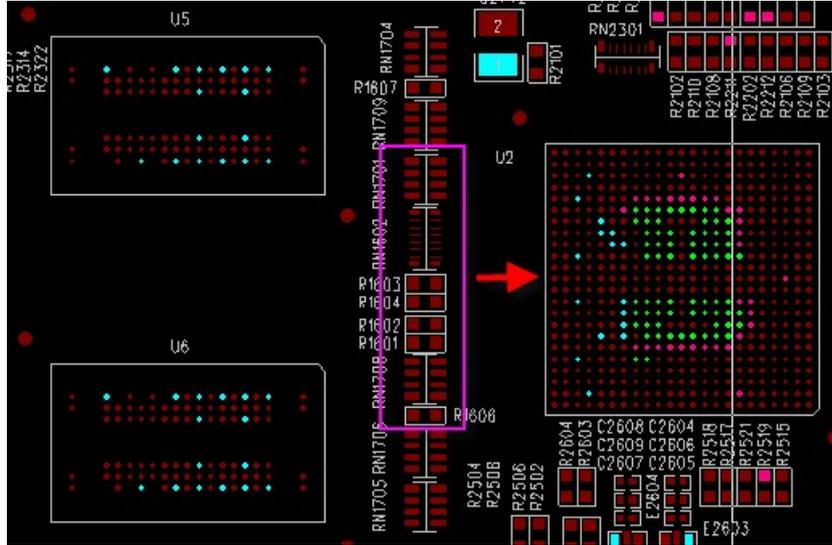
(1) Center-to-center spacing is allowed to fall to minimum (w) for up to 500 mils of routed length to accommodate BGA escape and routing congestion.  
 (2) A 18-bit DDR memory system has two sets of data net classes; one for data byte 0, and one for data byte 1, each with an associated DQS (2 DQs) per DDR EMIF used.  
 (3) A 32-bit DDR memory system has four sets of data net classes; one each for data bytes 0 through 3, and each associated with a DQS (4 DQs) per DDR EMIF used.  
 (4) There is no need, and it is not recommended, to skew match across data bytes; i.e., from DQS0 and data byte 0 to DQS1 and data byte 1.  
 (5) DQs from other DQS domains are considered other DDR2 trace.  
 (6) DQs from other data bytes are considered other DDR2 trace.  
 (7) DQLM is the longest Manhattan distance of each of the DQS and DQ net classes.

## 随机存储器-动态RAM DDR2



### ➤ DDR2地址线匹配电阻的布局

➤ DDR2地址线匹配电阻位置应靠近核芯



## 随机存储器-动态RAM DDR2



### ➤ DDR2的布线

➤ 特性阻抗:单端50欧,差分100欧

➤ 数据线每11根尽量走在同一层

(D0~D7, DQM0,DQS0\_N,DQS0\_P)

(D8~D15, DQM1,DQS1\_N,DQS1\_P)

(D16~D23,DQM2,DQS2\_N,DQS2\_P)

(D24~D31,DQM3,DQS3\_N,DQS3\_P)

➤ 信号线的间距满足3W原则

➤ 数据线、地址（控制）线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W

➤ 完整的参考平面

➤ VREF电源走线推荐 $\geq 20 \sim 30$ mil

DDR2x1片

DDR2x2片

❖ 误差范围:  
差分对误差严格控制在5mil  
数据线误差范围控制在 $\pm 15$ mil  
地址线误差范围控制在 $\pm 100$ mil

## 随机存储器-动态RAM DDR2



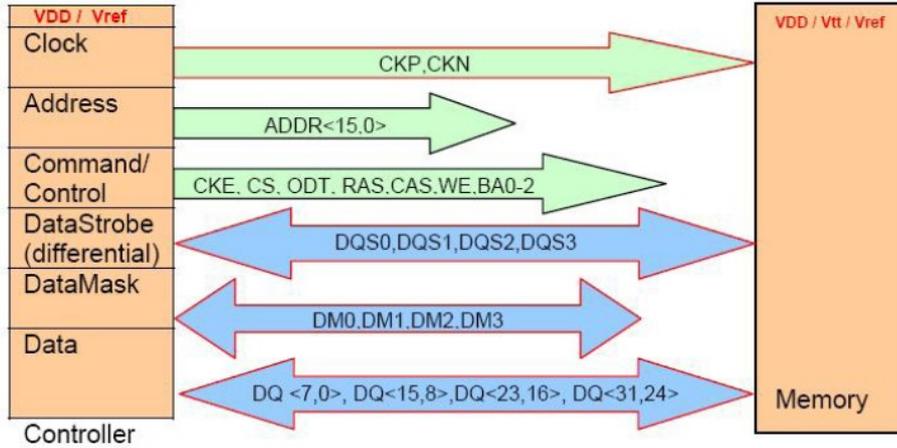
### ➤ DDR2的布线

- DQGATE组分为低16位和高16位

$$DQGATE\_L = DDRCLKOUTP + (DDRQDS0P + DDRQDS1P) / 2$$

- 布线拓扑：布线长度误差控制在100mil

$$DQGATE\_H = DDRCLKOUTP + (DDRQDS2P + DDRQDS3P) / 2$$



## 随机存储器-动态RAM DDR2



### DDR2 (采用树形或者星型拓扑)

### ➤ DDR2芯片时序设计

DQSH/DQSH#	严格差分等长设计	严格等长设计, 控制在 ± 15mil	尽量控制等长
DQSL/DQSL#	严格差分等长设计		
DQ0~DQ16	严格等长设计, 控制在 ± 15mil		
DQML/DQML#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
CLK/CLK#	严格差分等长设计		
A0~A11	等长设计, 控制在 ± 100mil		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

## 随机存储器-动态RAM DDR3



### ➤ DDR3的设计

#### ➤ DDR3的新特性

DDR3和DDR2在信号定义上基本上是一样的，信号定义上变化很小，大家可以看到有些芯片上会出现两根新的信号TDQS/TDQS#，它只是在8位RAM上会使用到，4位和16位的RAM不会用到他们，所以我们这里不特别阐述，我们可以简单的把它看做单向传输的DQS信号(RAM->Controller)，将其和DQS/DQS#,DATA, DM归为一组即可。

## 随机存储器-动态RAM DDR3



### ➤ DDR3与DDR2的比较

Technology	DDR2	DDR3
Max Clock Freq. (MHz)/Data rate(Mbps)	533/1066	800/1600
Power Requirement		
VDD (Volts)	1.8 +/- 0.1	1.5 +/- 0.075
Vtt (Volts)	0.9 +/- 0.04	0.75 +/- TBD
Vref (Volts)	0.9 +/- 0.018	0.75 +/- 0.015
Input Thresholds		
Vih/Vil (Volts)	0.9 +/- 0.2	0.75 +/- 0.175
Delay Matching Requirement		
Match ADDR/CMD/CNTRL to Clock tightly	Yes	Yes
Match DQ<7,0>, DM0 to DQS0 tightly	Yes	Yes
Match DQ<15,8>, DM1 to DQS1 tightly	Yes	Yes
Match DQ<22,16>, DM2 to DQS2 tightly	Yes	Yes
Match DQ<31,23>, DM3 to DQS3 tightly	Yes	Yes
Match DQS0-3 to Clock loosely	Yes	Not required

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ► DDR3与DDR、DDR2的比较

	DDR	DDR2	DDR3
时钟频率	100/133/166/200MHz	200/266/333/400MHz	400/533/667/800MHz
数据传输速率	200/266/333/400Mbps	400/533/667/800Mbps	800/1066/1333/1600Mbps
输入/输出位宽	x4/x8/x16/x32	x4/x8/x16	x4/x8/x16
预取宽度	2位	4位	8位
突发长度	2, 4, 8	4, 8	8
数据选通 (DQS)	单线	单线/差分	差分
电源电压	2.5V±0.2V	1.8V±0.1V	1.5V±0.075V
接口类型	SSTL_25	SSTL_18	SSTL_15
CAS延迟(CL)	2, 2.5, 3时钟频率	3, 4, 5时钟频率	5, 6, 7, 8, 9, 10时钟频率
片内终结器(ODT)	不支持	支持	支持
封装类型	66pin TSOP2 60pin BGA	60pin BGA(x4, x8) 84pin BGA(x16)	78pin BGA(x4, x8) 96pin BGA(x16)
Write Leveling	不支持	不支持	支持

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ► DDR3的等长

### ► 地址线长度要求

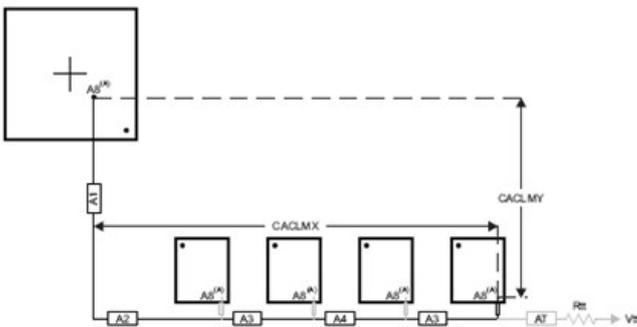


Table 8-24. CK and ADDR\_CTRL Routing Specification<sup>(1)(2)</sup>

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	A1+A2 length			2500	mil
2	A1+A2 skew			25	mil
3	A3 length			600	mil
4	A3 skew <sup>(3)</sup>			25	mil
5	A3 skew <sup>(4)</sup>			125	mil
6	A4 length			600	mil
7	A4 skew			25	mil
8	A5 length			100	mil
9	A5 skew			100	mil
10	A5+/A5- length			70	mil
11	A5+/A5- skew			5	mil
12	A7 length <sup>(5)</sup>		600		mil
13	A7 skew <sup>(6)</sup>		100		mil
14	A7 skew <sup>(7)</sup>			5	mil
15	CK/ADDR_CTRL nominal trace length <sup>(8)</sup>	CACL M-50	CACL M	CACL M+50	mil

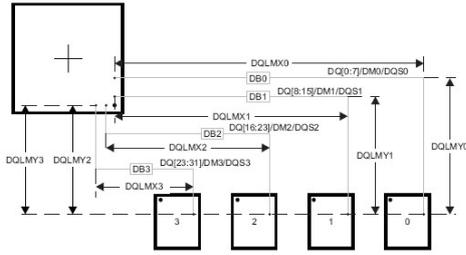
# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3的等长

### ➤ 数据线长度要求

DDR3数据线以  
DQS为基准25mil



DB0 - DB3 represent data bytes 0 - 3.  
There are four DQLMs, one for each byte (32-bit interface). Each DQLM is the longest Manhattan distance of the byte; therefore:  
 $DQLM0 = DQLMX0 + DQLMY0$   
 $DQLM1 = DQLMX1 + DQLMY1$   
 $DQLM2 = DQLMX2 + DQLMY2$   
 $DQLM3 = DQLMX3 + DQLMY3$

Table 8-25. Data Routing Specification<sup>(1)</sup>

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	DB0 nominal length <sup>(2)(3)</sup>			DQLM0	mil
2	DB1 nominal length <sup>(2)(4)</sup>			DQLM1	mil
3	DB2 nominal length <sup>(2)(5)</sup>			DQLM2	mil
4	DB3 nominal length <sup>(2)(6)</sup>			DQLM3	mil
5	DBn skew <sup>(7)</sup>			25	mil
6	DQSn+ to DQSn- skew			5	mil
7	DQSn to DBn skew <sup>(7)(8)</sup>			25	mil
8	Center-to-center DBn to other DDR3 trace spacing <sup>(9)(10)</sup>		4w		
9	Center-to-center DBn to other DBn trace spacing <sup>(9)(11)</sup>		3w		
10	DQSn center-to-center spacing <sup>(12)</sup>				
11	DQSn center-to-center spacing to other net <sup>(9)</sup>		4w		

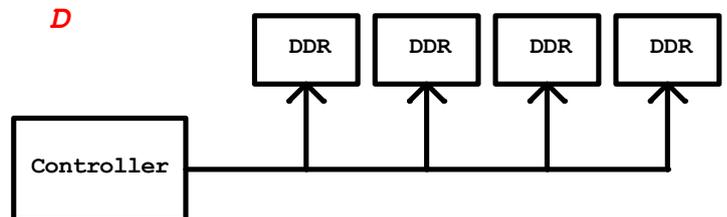
(1) External termination disallowed. Data termination should use built-in ODT functionality.  
 (2) DQLMn is the longest Manhattan distance of a byte. For definition, see Section 8.3.2.16.2 and Figure 8-39.  
 (3) DQLM0 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 0.  
 (4) DQLM1 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 1.  
 (5) DQLM2 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 2.  
 (6) DQLM3 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 3.  
 (7) Length matching is only done within a byte. Length matching across bytes is neither required nor recommended.  
 (8) Each DQS pair is length matched to its associated byte.  
 (9) Center-to-center spacing is allowed to fall to minimum for up to 1250 mils of routed length.  
 (10) Other DDR3 trace spacing means other DDR3 net classes not within the byte.  
 (11) This applies to spacing within the net classes of a byte.  
 (12) DQS pair spacing is set to ensure proper differential impedance.]

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3的拓扑结构

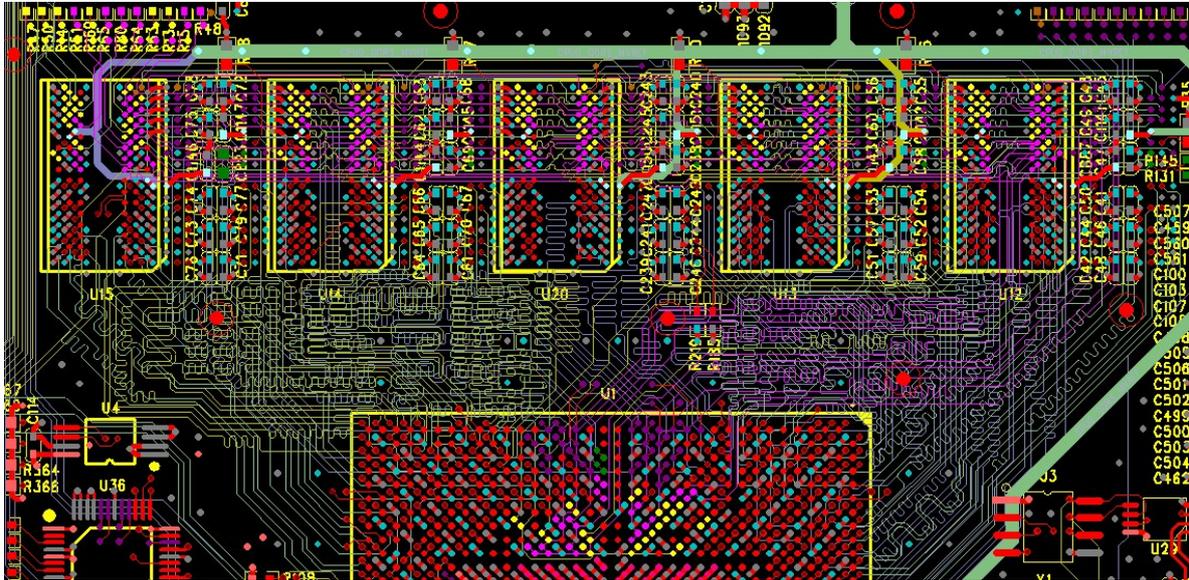
DDR3的地址拓扑和DDR2, DDR一样, 只是由于其速率更高(最高可达到1.6Gbps), 所以除了时序, 信号完整性也成了我们需要关注的要点, 前文提到的在多片DDR设计时采用的4种拓扑, 我们在进行DDR3设计, 尤其是当速率跑到1.6Gbps时, 通过仿真我们发现4种拓扑中只有D, 即菊花链拓扑满足信号完整性要求, 但是这里并不是说其他3种拓扑不适用, 只是在满足时序要求的情况下, D型拓扑能最好的达到信号完整性的要求。



# 随机存储器-动态RAM DDR3



## DDR3的拓扑结构

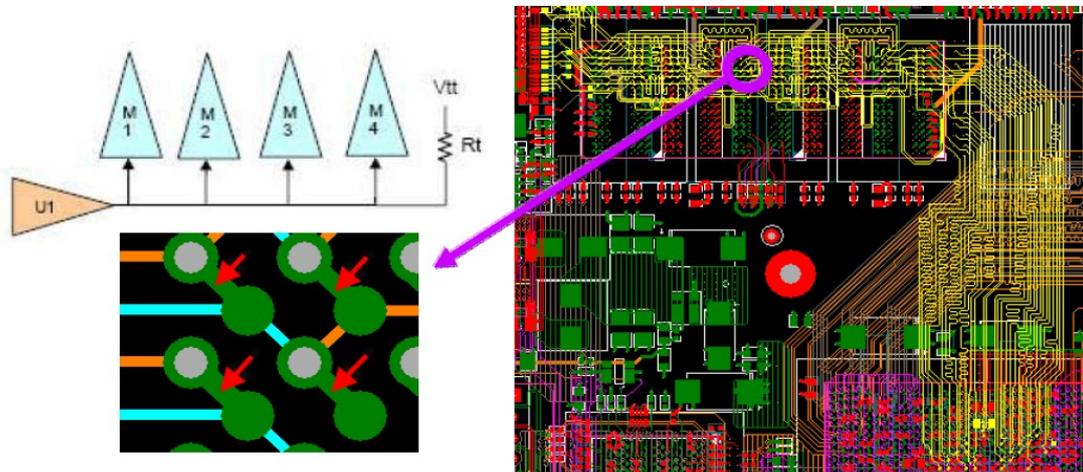


# 随机存储器-动态RAM DDR3



## DDR3的布局布线实例

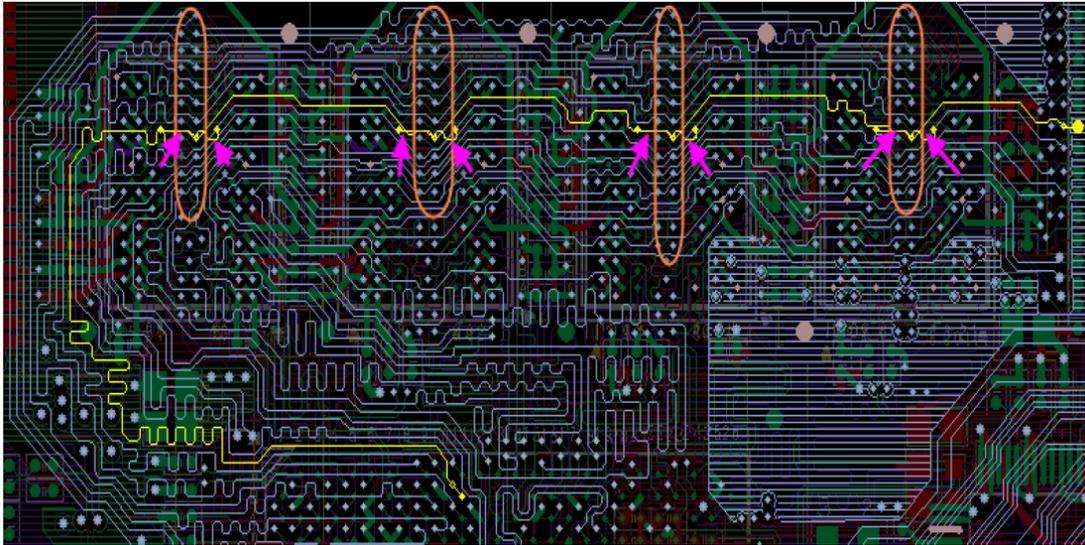
- 地址线布局布线要求优选F ly-By, 过孔到管脚长度尽量短, 长度在150mil左右



# 随机存储器-动态RAM DDR3



- DDR3的布局布线实例
  - 8颗DDR3正反对贴布线示例



# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3芯片设计总结

➤ DDR3(采用树形或菊花链拓扑)

TDQS/TDQS#(8位RAM专用)	严格差分等长设计	严格等长设计, 控制在 ±10mil	尽量控制等长
DQSH/DQSH#	严格差分等长设计		
DQSL/DQSL#	严格差分等长设计		
DQ0~DQ16	严格等长设计, 控制在 ±10mil	尽量控制等长	
DQML/DQMH			
CLK/CLK#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
A0~A11	尽量控制等长, 控制在 ±100mil如果是菊花链拓扑则走线越短越好		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

## 随机存储器-动态RAM DDR4



### DDR4新特点:

- 一. 8位预读取, 外部时钟频率是内部时钟频率的八倍, 数据传输率最高可达3.2Gbps;
- 二. 内核电压仅为1.2V;

### 布局布线要求基本同DDR3;

### 等长要求(推荐以Layout Guide为准、以仿真结果为准):

- 一. 数据线最大长度尽量不超过2500mil, 组内长度误差范围控制在 $\pm 5\text{mil}$ , 得益于Write Leveling技术, DQS与时钟线一般无长度误差要求, 注意尽量查阅Layout Guide或datasheet, 部分芯片会有组间、以及DQS与时钟线的等长要求;
- 二. 地址线误差范围控制在 $\pm 20\text{mil}$ ;
- 三. DQS、时钟差分对内误差范围控制在 $\pm 3\text{mil}$ , 设计阻抗时, 使本对内间距不超过2倍线宽;

## 随机存储器-动态RAM RDRAM



➤ RDRAM是由Rambus公司推出的一种采用双沿触发技术的内存, 有16/18bit (ECC) 两种规格, 能在很高的频率范围内通过一个简单的总线传输数据

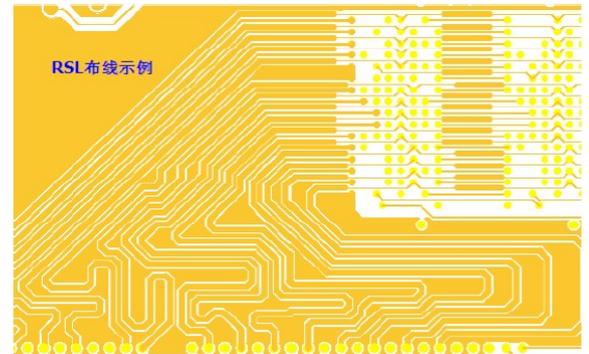
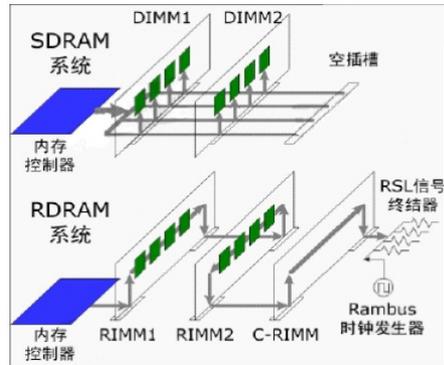
### ➤ 功能管脚说明

信号名	类型	电平	功能描述
DQA (8: 0)	I/O	RSL	数据字节 A。在通道与 RDRAM 器件间进行一个字节的信号传递。在 x16 的系统中 DQA (8) 将不使用。
DQB (8: 0)	I/O	RSL	数据字节 B。在通道与 RDRAM 器件间进行一个字节的信号传递。在 x16 的系统中 DQB (8) 将不使用。
RQ (7: 5) 或 ROW (2: 0)	Input	RSL	行访问控制。传递行访问的控制与地址信号。
RQ (4: 0) 或 COL (4: 0)	Input	RSL	行访问控制。传递行访问的控制与地址信号。
CFM, CFMN	Input	RSL	Clock From Master。从通道中接收 RSL 信号的差分接口时钟。
CTM, CTM#	Input	RSL	Clock To Master。发送 RSL 信号到通道的差分接口时钟。
CMD	Input	CMOS	串行命令输入。与 S100 和 S101 一起用于读写控制寄存器, 也用于电源管理。
SCK	Input	CMOS	串行时钟输入。用于读写 RDRAM 控制寄存器的时钟源。
SI01, SI00	I/O	CMOS	串行输入输出。通过串行协议读写控制寄存器, 也用于电源管理。
Vref		DC	RSL 信号的逻辑门限参考电压。
Vcmos		DC	CMOS 输入输出管脚的电源电压。
Vdda		DC	RDRAM 模拟电路的电源电压。
Vdd		DC	RDRAM 内核与接口逻辑的电源电压。
GNDa		DC	RDRAM 模拟电路的地参考。
GND		DC	RDRAM 内核与接口逻辑的地参考。

## 随机存储器-动态RAM RDRAM



### ➤ RDRAM与 SDRAM架构 比较



特点:

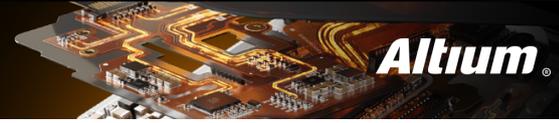
- 1.信号线数目较少，所有信号均为串联接法;
- 2.工作频率极高，所有RSL电平信号都要包地，并以地平面为参考;
- 3.DQ、RQ、和CTM、SCK、CMD等信号的走线长度在分段过程中每一段的长度都必须匹配，匹配的计算不仅包括走线，还包括管脚长度，误差控制在 $\pm 10\mu\text{m}$ 以内;

## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM



# 随机存储器-静态RAM SRAM



## ➤ SRAM的特点

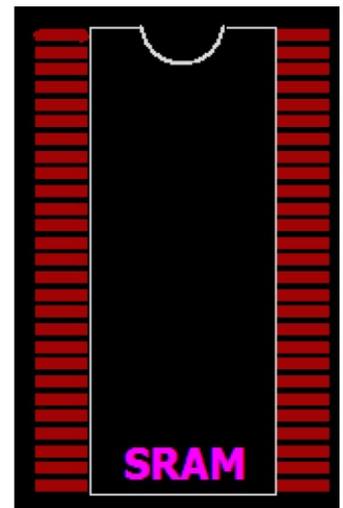
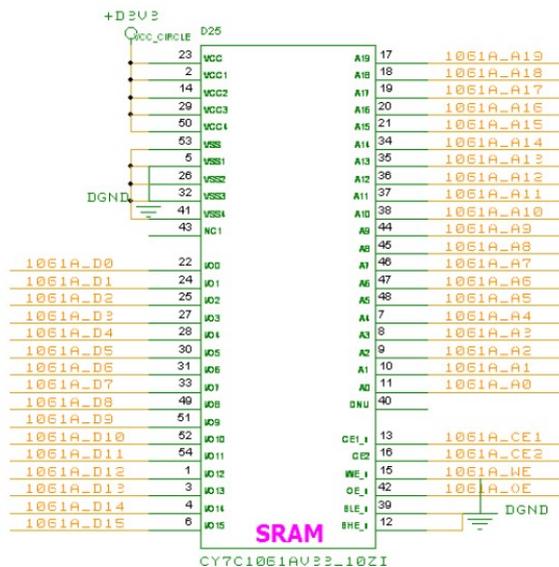
- SRAM是Static RAM缩写，即静态随机存储器，它是一种具有静止存取功能的内存，不需要刷新电路就能保持内部存储数据的有效性，但断电后，数据仍然会丢失
- SRAM存取速度快，但比相同容量的DRAM体积大，功耗也大，因此目前单片SRAM容量一般都是几百K到几十M

# 随机存储器-静态RAM SRAM



## ➤ SRAM的特点

- 右图为SRAM,目前SRAM运用较为广泛的是QDR SRAM系列

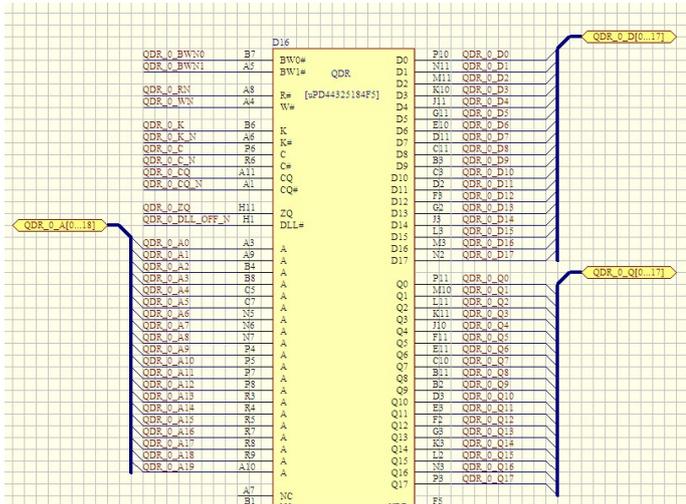


# 随机存储器-静态RAM QDR



## QDR的设计

QDR的新特性: 可在一个时钟周期内传送四次数据 (两次读与两次写数据)



信号名。	功能描述。
K, K#。	输入时钟。
C, C#。	用于输出数据的输入时钟。
SA。	地址信号输入。
D0-17 (35)。	数据信号输入。
Q0-17 (35)。	数据信号输出。
W#。	写操作控制信号。
R#。	读操作控制信号。
BW0#- BW 1 (3) #。	字节写控制信号。
Vref。	输入参考电平。
ZQ。	输出驱动器阻抗控制端。
VDD。	电源电压 (2.5V)。
VDDQ。	输出 IO 电源电压 (1.5V 或 1.8V)。
VSS。	地管脚。
TMS, TCK, TDI, TDO。	JTAG 测试模式控制管脚。

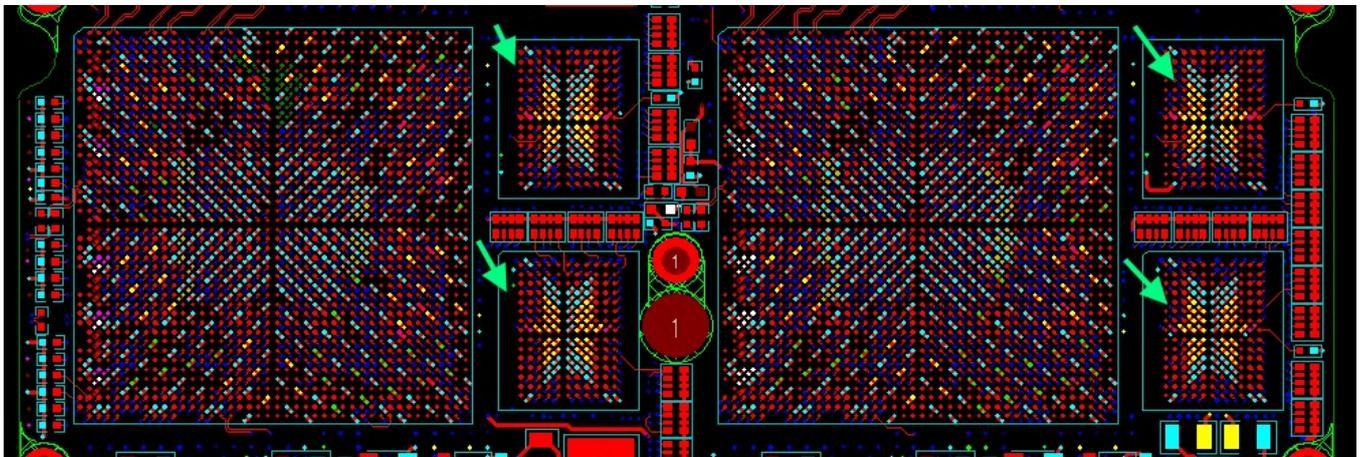
# 随机存储器-静态RAM QDR



## QDR的布局

布局与DDR类似

A型



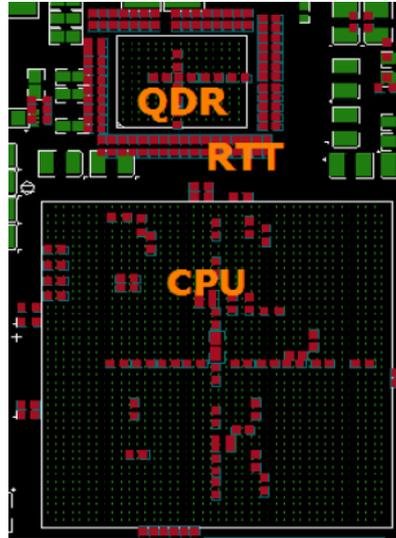
随机存储器-静态RAM QDR



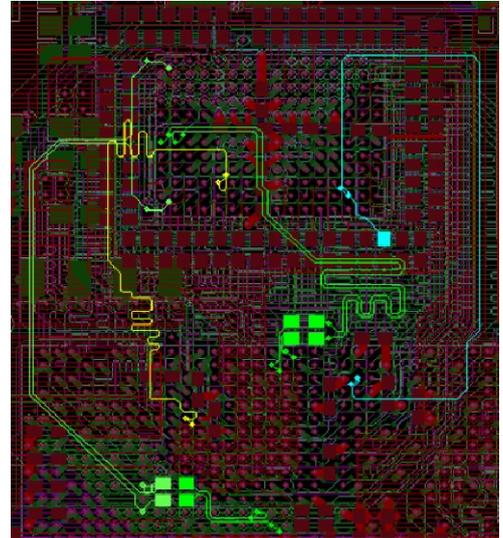
QDR的布局

布局与DDR类似

B型



C型



随机存储器-静态RAM QDR



QDR的时序设计

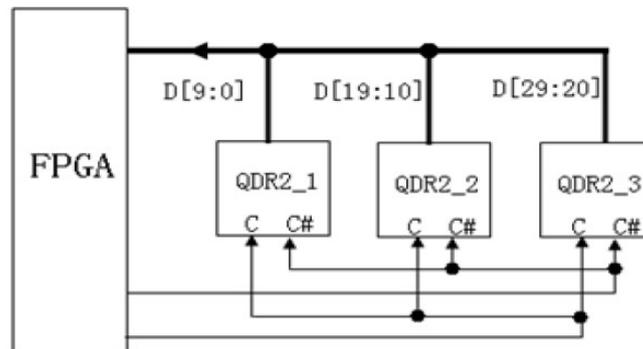
7	QDR信号数据信号	QDR_0_D0-17 QDR_0_Q0-17	组内信号误差25mil正负
8	QDR信号时钟信号	QDR_0_K QDR_0_K_N QDR_0_C QDR_0_C_N QDR_0_CQ QDR_0_CQ_N	时钟差分误差小于10mil 不同差分对尽量等长
9	QDR地址命令控制信号	QDR_0_A0-18 QDR_0_BWN0 QDR_0_BWN1 QDR_0_RN QDR_0_WN QDR_0_ZQ QDR_0_DLL_OFF_N	尽量等长

## 随机存储器-静态RAM QDR



QDR2 SRAM规范中要求K/K#时钟和C/C#时钟的偏移必须大于0，因为QDR的同时读写特点，假设在同一时钟周期内，要对同一个地址的数据进行读操作和写操作，规范要求是，要先进行写操作，后进行读操作，也就是写参考时钟K/K#需要比读参考时钟C/C#先到达。但是，规范中同时规定，C/C#时钟与K/K#时钟之间的skew必须小于三分之一时钟周期。

因此如果将多片QDR2 SRAM器件并联使用的并且有C/C#时钟的话，需要注意C/C#时钟的PCB走线方式，即C/C#时钟须先到达最远端的QDR器件，最后到达最近处的QDR器件，这样，参考时钟信号的延迟正好可以抵消数据信号的延迟，确保几个器件上的数据保持同步，如下图所示。



## 随机存储器-静态RAM QDR



QDR2等长要求(推荐以Layout Guide为准、以仿真结果为准):

- 一. 输入时钟K/K#和写数据信号D[17:0]设为一个组等长，组内误差+/-25mil;
- 二. 输出时钟CQ/CQ#和读数据信号Q[17:0]设为一个组等长，组内误差+/-25mil;
- 三. 其他地址信号和控制信号设为一个组等长，组内误差+/-50mil，同时与系统时钟K/K# 误差+/-100mil，与数据组误差+/-100mil;
- 四. 差分线组内误差+/-5mil;

其实由上述规则可以看出，读、写数据和地址、控制信号，以及输入输出时钟是存在时序关系的，因此，在等长设定时可将左右信号设成一个组等长，误差设为+/-25mil;

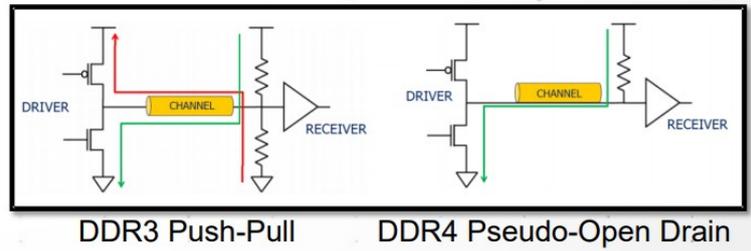
# DDR4



Specification	DDR2	DDR3	DDR4
Voltage	1.8 V	1.5 / 1.35 V	1.2 V
Per Pin Data Rate (Mbps)	400-1066	800-2133	1600-3200
Channel Bandwidth (GBps)	3.2-8.5	6.4-17	12.8-25.6
Component Density	512 MB–2 GB	1-8 GB	2-16 GB

- Lower VDD voltage and Pseudo-Open Drain (POD) reduces power consumption by 40%
- Internal VREF training performed within the IC receiver, to optimize VREF level. Retraining at regular intervals.
- Data lines are calibrated at the IC, to reduce their skew to the strobe.
- Data bus inversion (DBI)

Image Source: Micron Technology



DDR3 Push-Pull

DDR4 Pseudo-Open Drain

# DDR4



## DDR4 High Speed => Less Timing Margin

### Shrinking Timing Margins in Picoseconds

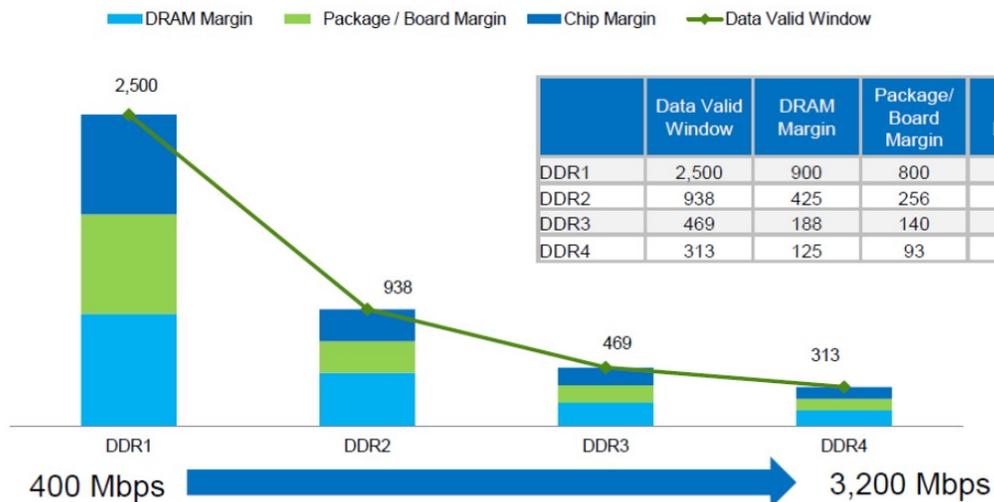


Image Source: Altera

## DDR4



DDRx SDRAM参数						
	DDR	DDR2	LPDDR2	DDR3	LPDDR3	DDR4
速率(Mbps)	200 ~ 400	400 ~800	333 ~ 1066	800 ~ 2133	1333 ~ 2133	1600~3200 (SE) ~6400 (Diff)
VDDQ(V)	2.5	1.8	1.2	1.5	1.2	1.2
电平接口	SSTL_2	SSTL_18	HSUL_12	SSTL_15	HSUL_12	POD12
选通信号	单端	可选单端/差分	差分	差分	差分	差分
ODT	无	有	无	有	可选	有
Slew RateDerating	有	有	有	有	有	无
WriteLeveling	无	无	无	有	有	有
DBI	无	无	无	无	无	有

## DDR4



### DDR3 新功能

- DDR3新增的重置(Reset)功能
- DDR3新增ZO校准功能
- 突发长度(Burst Length, BL), 由于DDR3的预取为8bit, 所以突发传输周期(Burst Length, BL)也固定为8
- 寻址时序(Timing)变化
- 参考电压分成两个VREF将分为两个信号, 即为命令与地址信号服务的VREFCA和为数据总线服务的REFDQ, 这将有效地提高系统数据总线的信噪等级

## DDR4



### DDR4 新功能

- 新的JEDEC POD12接口标准（工作电压1.2V）；
- DBI：可以降低功耗并且提升数据信号完整性；
- Bank群组结构：是个8n预取群组结构，它可以使用两个或者四个Bank组，这允许DDR4内存在每个Bank群组单独被激活、读取、写入或刷新操作，这样可以带来更高的内存速度和带宽；
- 取消了Derating，时序仿真计算不再繁琐；
- DQ动态确定Vref（V\_center），增加了眼图要求；
- 新的终止调度：在DDR4中DQ bus可以转移终止到VDDQ，这样即使VDD电压降低的情况下也能保证稳定；
- 新的数据总线CRC技术，可以进行传输过程中的错误侦测，特别对非ECC内存进行写入操作时有帮助；
- 针对命令和地址总线的新的CA奇偶校验；
- 突发长度和突发停止长度分别为8和4；
- 正常和动态的ODT:改进ODT协议，并且采用新的Park Mode模式可以允许正常终结和动态吸入终结，而不需要去驱动ODT Pin；
- \*Differential Signaling（差分信号技术）

## DDR4 vs DDR3



特点	DDR3	DDR4	备注
信令变化			
电压(内核和I/O)	1.5V	1.2V	降低能耗
低压标准	是(DDR3L@ 1.35V)	预计(DDR4L, 可能1.05V)	内存能耗下降
数据速率(MT/s)	800, 1066, 1333, 1600, 1866, 2133	1600, 1867, 2133, 2400, 2667, 3200	演进到更高速度
密度	512Mb - 8Gb	2Gb -16Gb	满足更高容量的内存需求
DBI	无	有	更低功耗和更好的信号完整性
DQ驱动器(ALT)	40欧姆	48欧姆	为点到点应用优化
DQ总线	SSTL 15	POD 12	降低I/O噪声和能耗
RTT值	120, 60, 40, 30, 20	240, 120, 80, 60, 48, 40, 34	支持更高的数据速率
堆叠引脚	否	是	适用于未来的更高密度的模块

## DDR4 Skew/等长



	DDR3	DDR4
Source-Synchronous Signal	同组DQ/ECC与对应DQS等长保持在100mil内	同组DQ/ECC与对应DQS等长保持在50mil内
	DQS 差分线对内等长保持在5mil内	DQS 差分线对内等长保持在5mil内
	同组DQ/ECC等长保持在30mil内	同组DQ/ECC等长保持在10mil内
	同组信号严格要求同层走线	同组信号严格要求同层走线
Clock Signal	CLK差分线对内等长保持在2mil内	CLK差分线对内等长保持在2mil内
	同一DIMM的CLK之间等长保持在20mil内	同一DIMM的CLK之间等长保持在5mil内
Source Clocked Signal(MA[15:00], BA[2:0], RA S_N, CAS_N, WE_N, MA_PAR)/BG[1:0], ACT_N, C[2]	同一个DLL组, CMD要求等长保持在500mil内所有CMD信号要求与对应时钟保持在2inch内	同一个DLL组, CMD要求等长保持在25mil内所有CMD信号要求与对应时钟保持在2inch内
Source Clocked SignalCS_N[9:0], ODT[5:0], CK E[5:0]	同一个DLL组, UDIMM CTL要求与时钟等长保持在100mil内, for RDIMM保持在240mil内	同一个DLL组, CTL要求与时钟等长保持在25mil内, for RDIMM保持在100mil内

DDR3摘自Intel Romley PDG; DDR4摘自Intel Grantley PDG

## DDR4 Crosstalk/串扰



	DDR3	DDR4
Source-Synchronous Signal	同组DQ/ECC/DQS最小间距:内层17mil(4.25H)外层19mil(7.03H)	同组DQ/ECC/DQS最小间距:内层17mil(4.25H)外层19mil(7.03H)
	组间DQ/ECC最小间距:内层32mil,外层27mil	组间DQ/ECC最小间距:内层32mil,外层27mil
	同层通道间DQ/ECC最小间距:内层40mil,外层32mil	同层通道间DQ/ECC最小间距:内层40mil,外层32mil
	DQ/ECC在DIMM Pin处间距:内层9mil,外层12mil	DQ/ECC在DIMM Pin处间距:内层17mil,外层19mil
Clock Signal	CLK差分线对内间距5mil	CLK差分线对内间距5mil
	CLK差分线与其他信号间距:内层12mil,外层13.5mil	CLK差分线与其他信号间距:内层12mil,外层13.5mil
Source Clocked Signal(MA[15:00], BA[2:0], RA S_N, CAS_N, WE_N, MA_PAR)/BG[1:0], ACT_N, C[2]	CMD信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCMD信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCMD信号在DIMM Pin处间距:内层9mil,外层12mil	CMD信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCMD信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCMD信号在DIMM Pin处间距:内层4.9mil,外层6.9mil
Source Clocked signalCS_N[9:0], ODT[5:0], CK E[5:0]	CTL信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCTL信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCTL信号在DIMM Pin处间距:内层9mil,外层12mil	CTL信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCTL信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCTL信号在DIMM Pin处间距:内层4.9mil,外层6.9mil

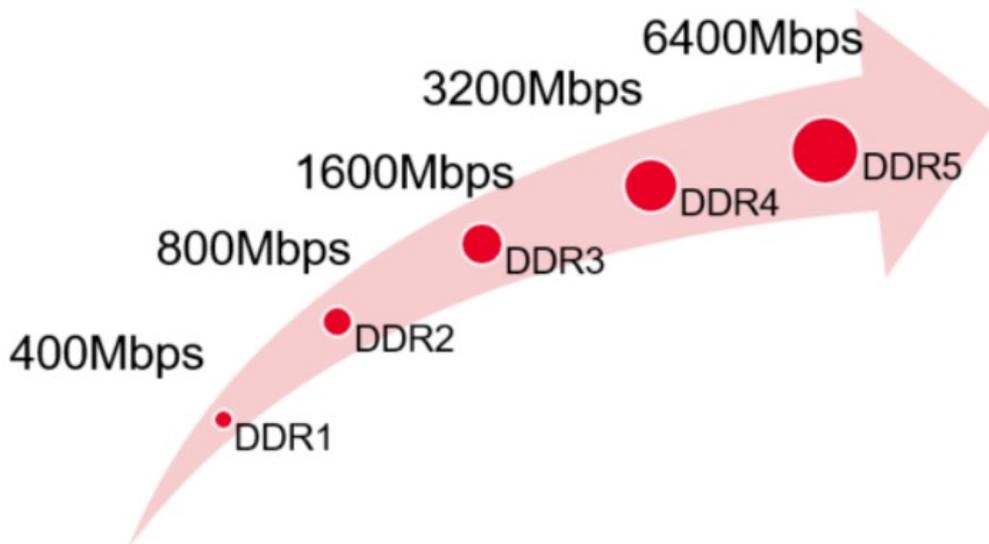
DDR3摘自Intel Romley PDG; DDR4摘自Intel Grantley PDG

## DDR5 vs DDR4

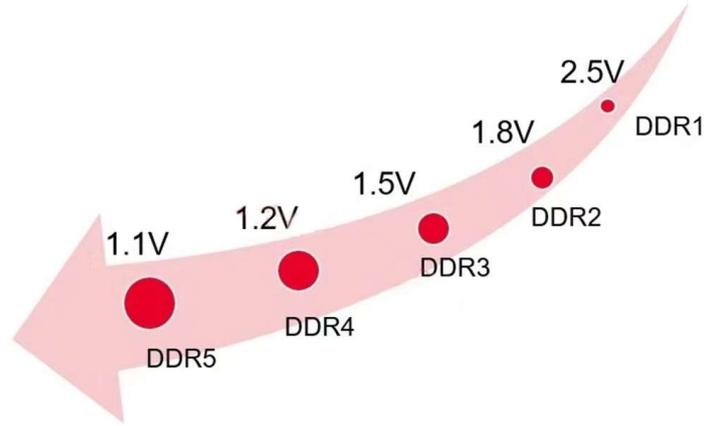


对比项目	DDR4	DDR5
速率	1.6G~3.2G	3.2G~6.4G
电压	1.2V	1.1V
均衡	无	有
ODT	DQ	DQ,CA
Prefetch	8n	16n
BL	BL8	BL16
单颗DRAM容量	16Gb	32Gb

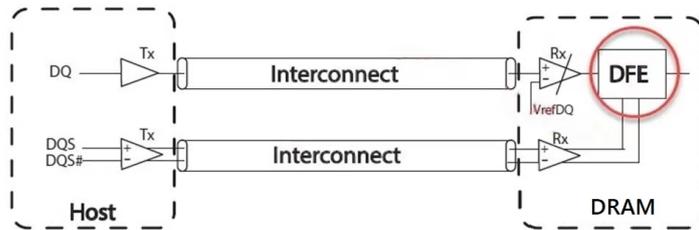
## DDR5-速率



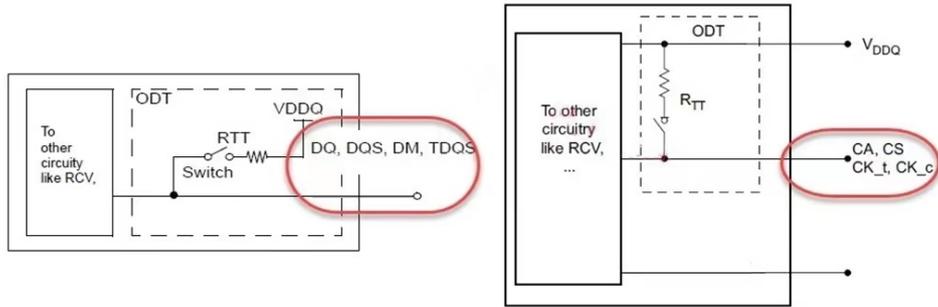
# DDR5 - 电压



# DDR5 - 均衡



# DDR5 - ODT



# DDR5 - 单颗容量



单颗DRAM的容量变得更大，DDR5的单颗容量可以达到32Gb。

# DDR5 - Burst length



Function	Register Type	Operand	Data	Notes
Burst Length	R/W	OP[1:0]	00 <sub>B</sub> : BL16 01 <sub>B</sub> : BC8 OTF 10 <sub>B</sub> : BL32 (Optional) 11 <sub>B</sub> : BL32 OTF (Optional)	
			00000 <sub>B</sub> : 22	

# DDR5 - Prefetch

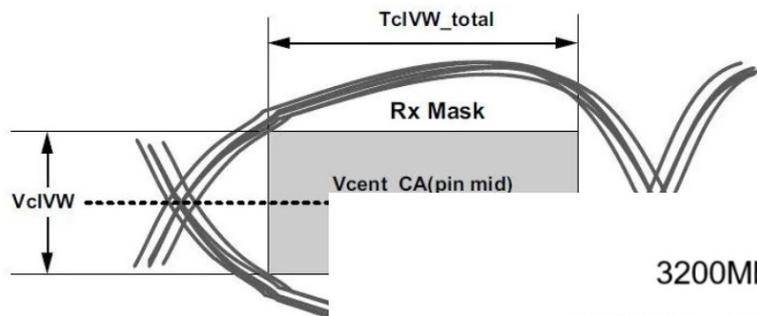
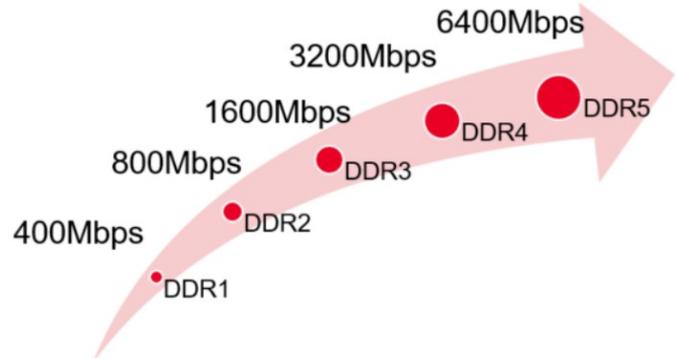
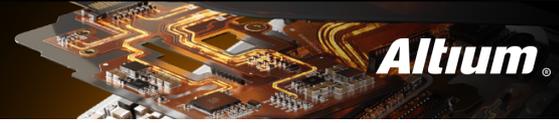


Figure 179



# DDR5



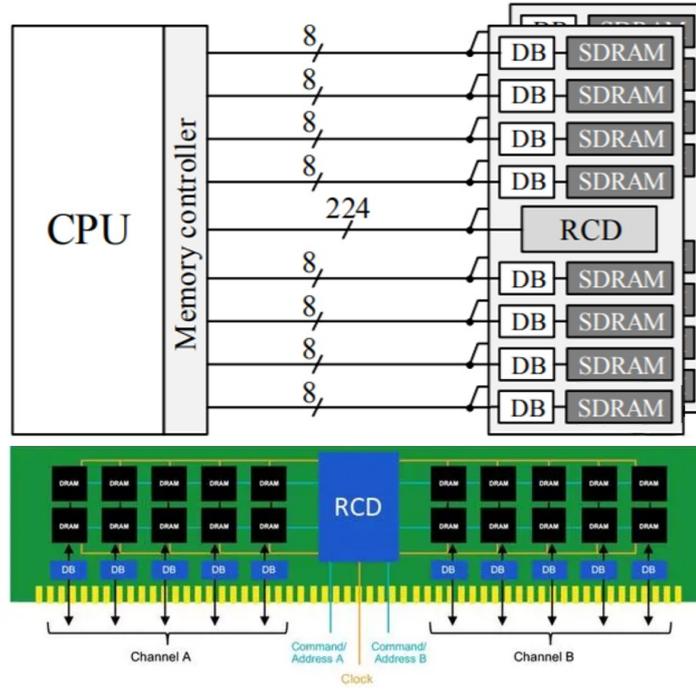
<p><b>DDR6?</b></p> <p><b>"Shannon Speed"</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Complex modulation?</li> </ul>	<p><b>Signal</b></p> <p><b>Specification</b></p> <p><b>Design</b></p>
<p><b>IQ Threshold</b></p> <p><b>DDR5</b></p> <p><b>"Hyper Speed"</b> - No visible eye</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pre/De-Emp., impulse resp</li> </ul>	
<p><b>Impulse Response Threshold</b></p> <p><b>DDR4</b></p> <p><b>"Serial Speed"</b> - Clock often embedded</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eye Diagrams/Masks</li> <li>• Error rates, Jitter/Noise</li> </ul>	
<p><b>Jitter &amp; Noise Threshold</b></p> <p><b>DDR3</b></p> <p><b>DDR2</b></p> <p><b>DDR</b></p> <p><b>"High Speed"</b> - Transmission lines</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Timing</li> <li>• Impedance / load curves</li> </ul>	
<p><b>Signal Integrity Threshold</b></p> <p><b>Static RAM</b></p> <p><b>"Low Speed"</b> - Auto place and route</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fanout</li> <li>• Capacitance</li> </ul>	

# DDR5



Features	DDR4	DDR5	DDR5 Advantages
Speed	1600 to 3200 MT/s data rate 0.8 to 1.6 GHz clock rate	3200 to 6400 MT/s data rate 1.6 to 32 GHz clock rate	Higher bandwidth DDR5-4800 initial designs
IO Voltage	1.2V	1.1V	Lower power
Power Management	On motherboard	On DIMM PMIC	Better power efficiency
Channel Architecture	bit data channel(64 data + 8 ECC) 1 channel per DIMM	40-bit data channel(32 data + 8 ECC) 2 channels per DIMM	Higher memory efficiency
Burst Length	BC4, BL8	BC8, BL16	Higher memory efficiency
DRAM Size Supported	16 Gb	32 Gb	Higher capacity DIMMS

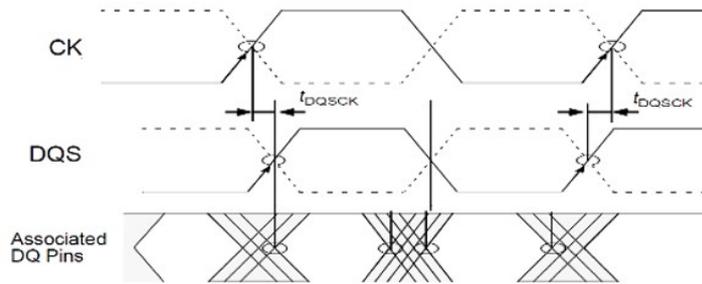
# DDR5



# DDR5特点



- 1. 采用分离式全速率时钟，对应6400M T/s频率最高达3.2GHz



DDR5 DQS控制DQ读写时序

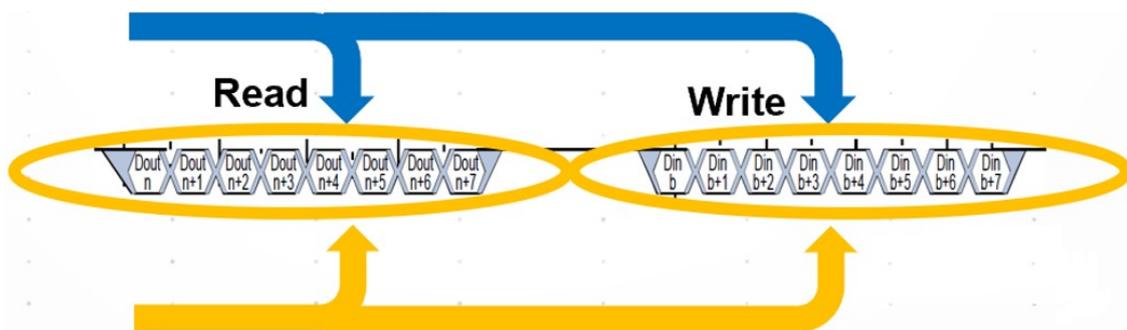
## DDR5特点



2.更宽的总线，单端信号，从RCD(Registering ClockDrivers)芯片来看采用Multi-Drop架构。

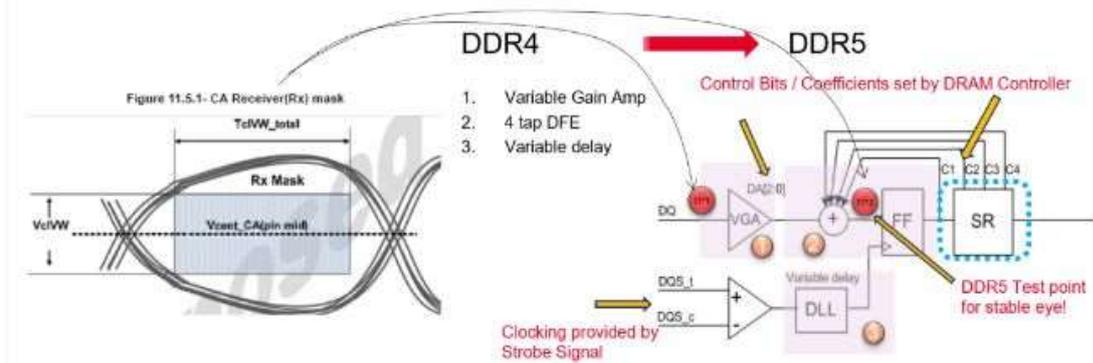
基于今天更宽的总线需求，在一块刀片服务器上可能支持1000+个并行数据通道。且由于继续采用单端信号且速率倍增，传统只在串行差分电路上考虑的损耗问题也开始困扰DDR5.因此在DDR5设计和验证测试上，不仅需要考虑传统的串扰问题还增加了对电路损耗问题的考虑

## DDR5特点



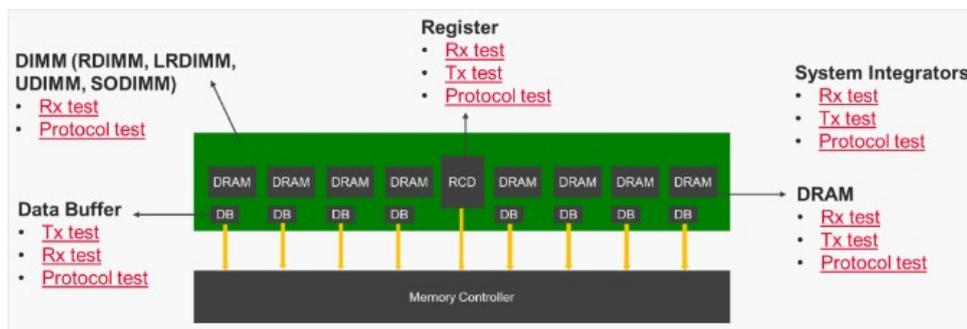
DDR5读写共享总线

# DDR5特点



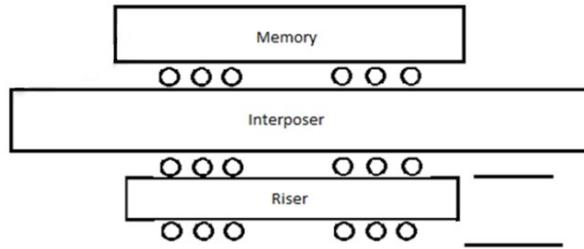
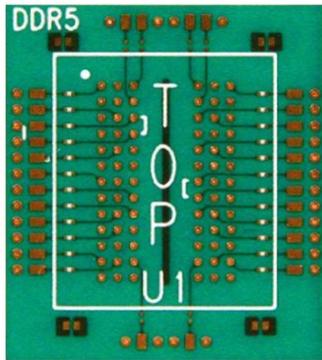
DDR5在接收端采用更多的类似高速串行总线的信号处理

# DDR5特点



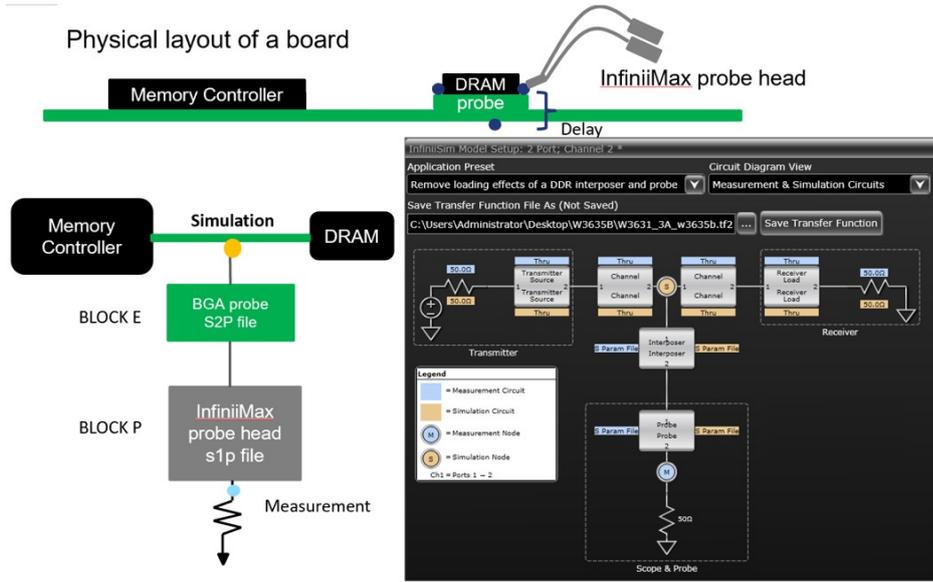
DDR5生态系统

# DDR5



DDR5 BGA Probe和板上安装示意图

# DDR5



InfiniiSim用于DDR BGA Probe去嵌示意图

Altium®

# 常用存储器的PCB设计

2023

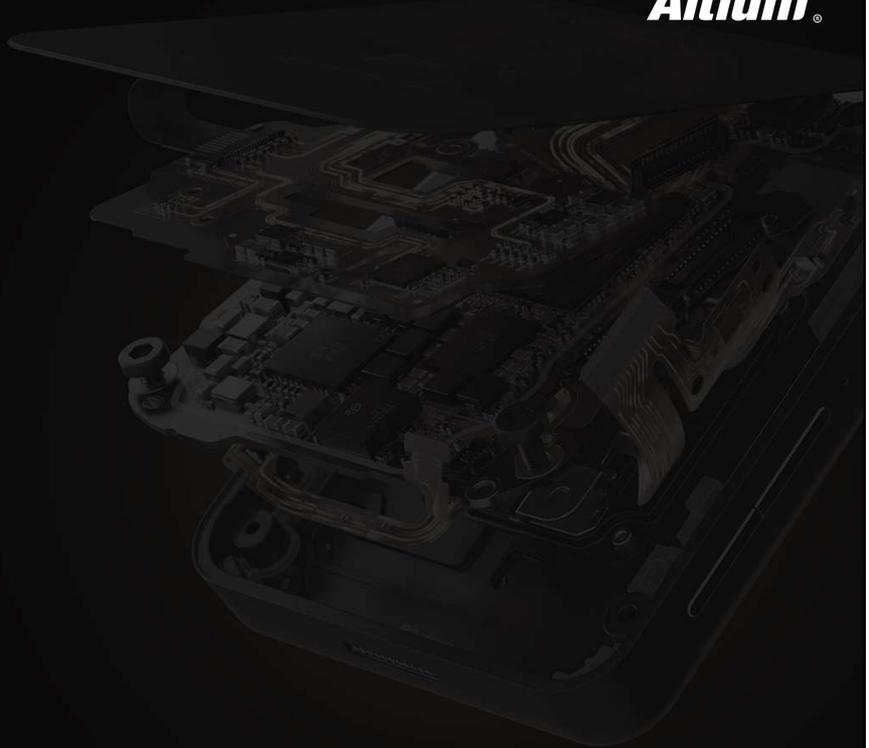
林超文  
EDA技术总监



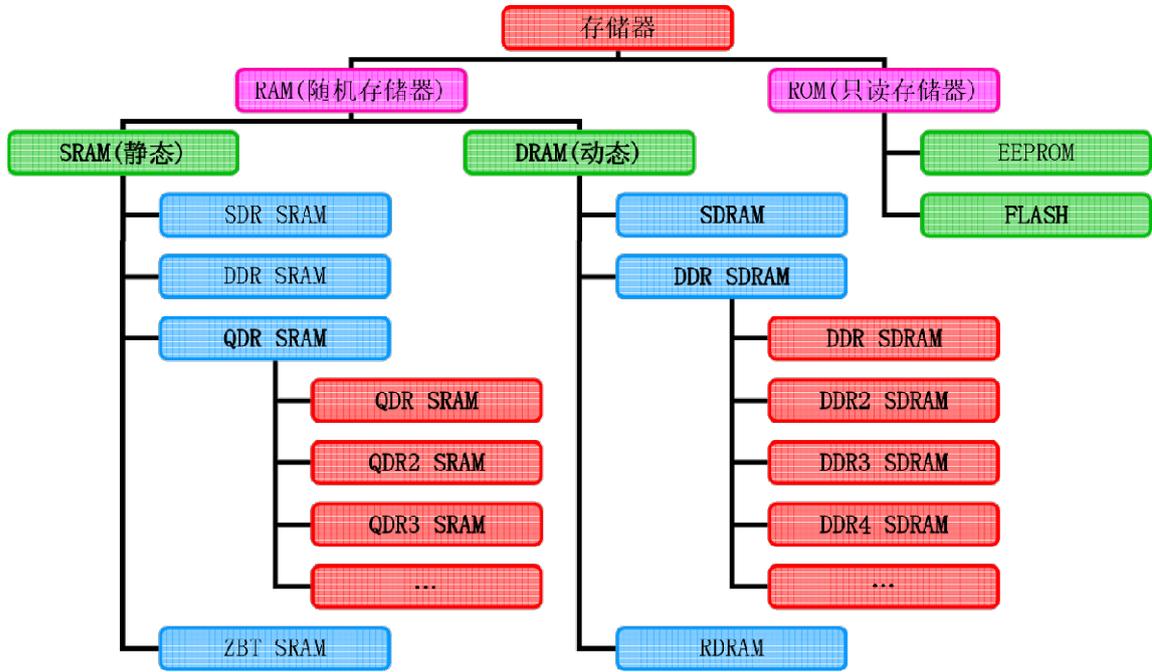
## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM

Altium®



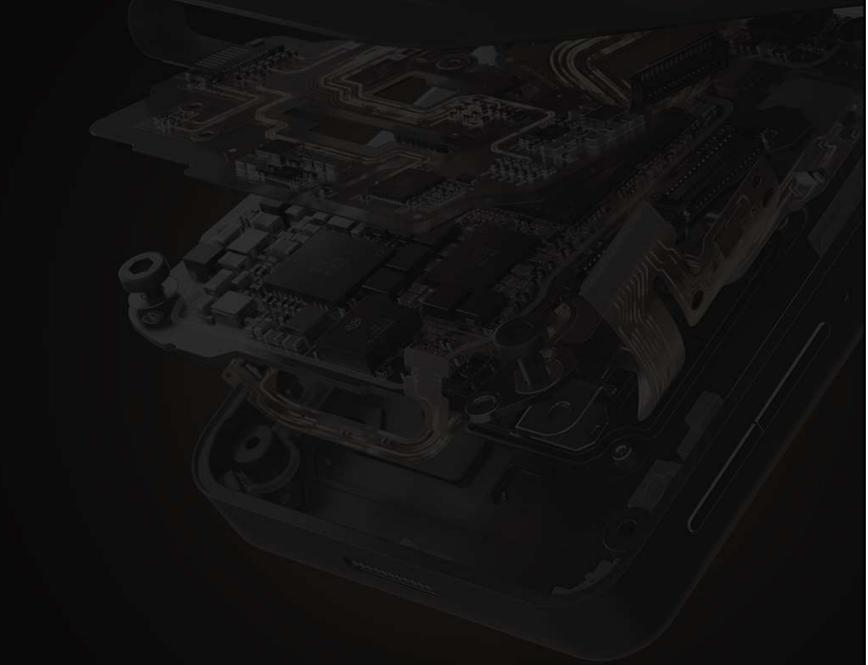
# 常用存储器分类



## Agenda



- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM

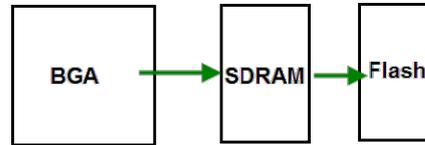


# 只读存储器ROM-FLASH



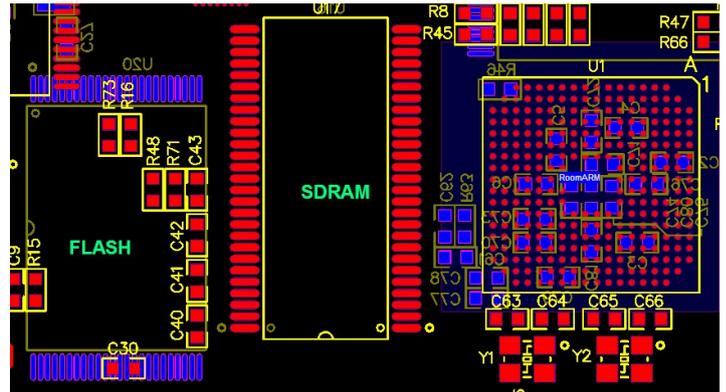
## FLASH特点

- 速率较低, 通常在50Mhz以下
- 静态存储



## 布局

- 一般采用菊花链
- Flash和SDRAM的推荐距离为500-1000mil

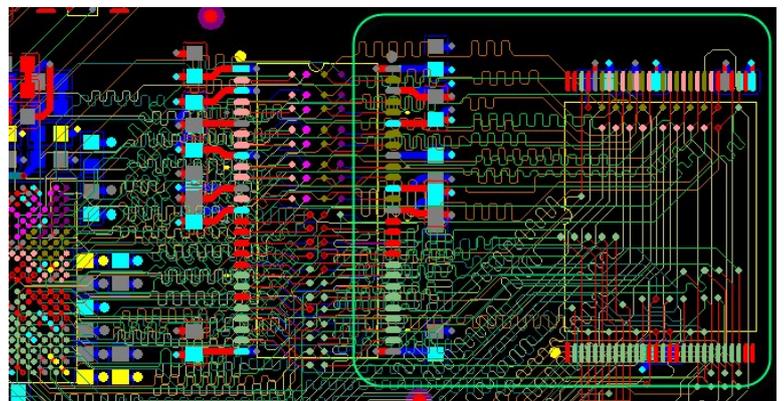
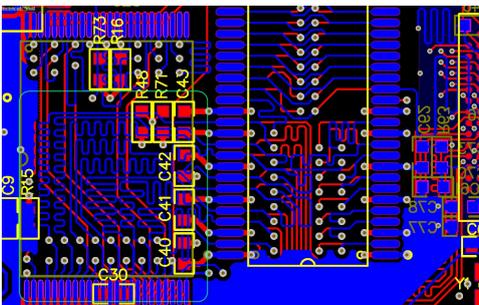


# 只读存储器ROM-FLASH



## 布线

- 特性阻抗:50欧
- 线间距3W
- 等长范围:+/-100mil



## 只读存储器ROM-EEPROM电路概述



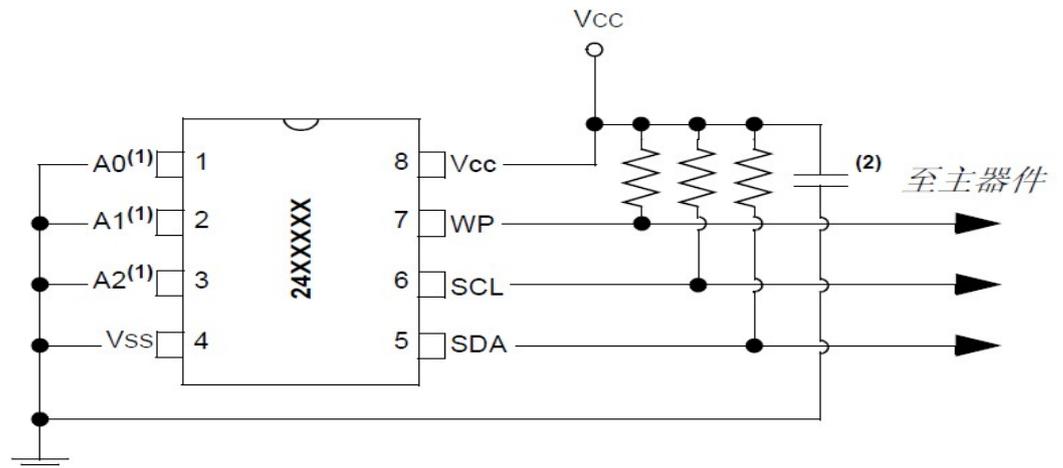
### ► EEPROM

EEPROM（电可擦可编程只读存储器）这是一种具有可擦除功能，擦除后即可进行再编程的ROM内存，一种掉电后数据不丢失的存储芯片，EEPROM可以在电脑上或专用设备上擦除已有信息，重新编程。这类芯片一般用于即插即用。

## 只读存储器ROM-EEPROM典型电路



### ► 典型连接方式



- 1.在某些器件中，引脚A0，A1，A2在内部未连接
- 2.应使用一个去耦合电容（通常为0.1UF）来帮助滤除VCC上的小纹波

## 只读存储器ROM-EEPROM典型电路

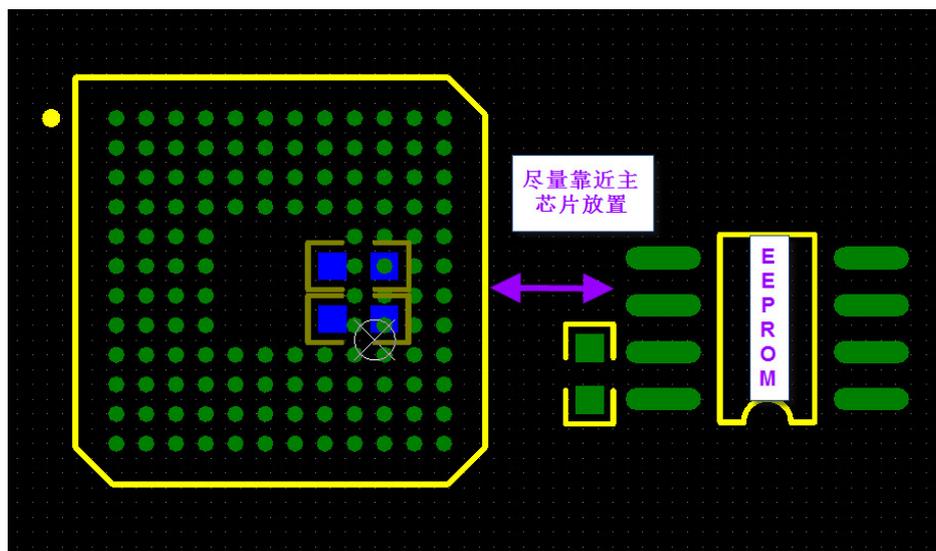


- 1.2.3: A0 A1 A2 器件地址选择
- 5: SDA 串行数据, 地址
- 6: SCL 串行时钟
- 7: WP 写保护
- 8: VCC +1.8V~6.0V工作电压
- 管脚定义

## 只读存储器ROM-EEPROM布局要求



- 靠近主芯片放置, 使距离尽量短

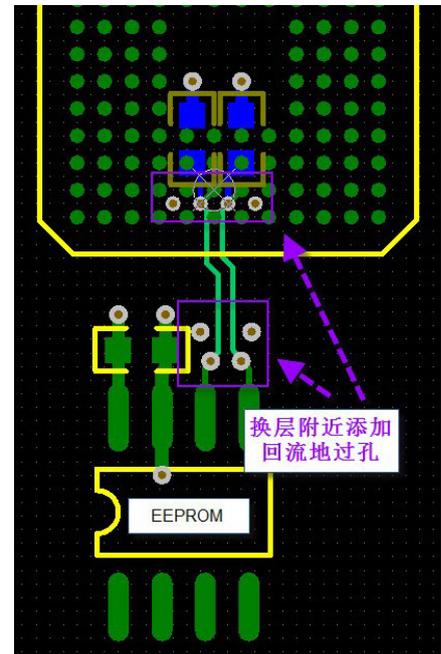


## 只读存储器ROM-EEPROM布线要求



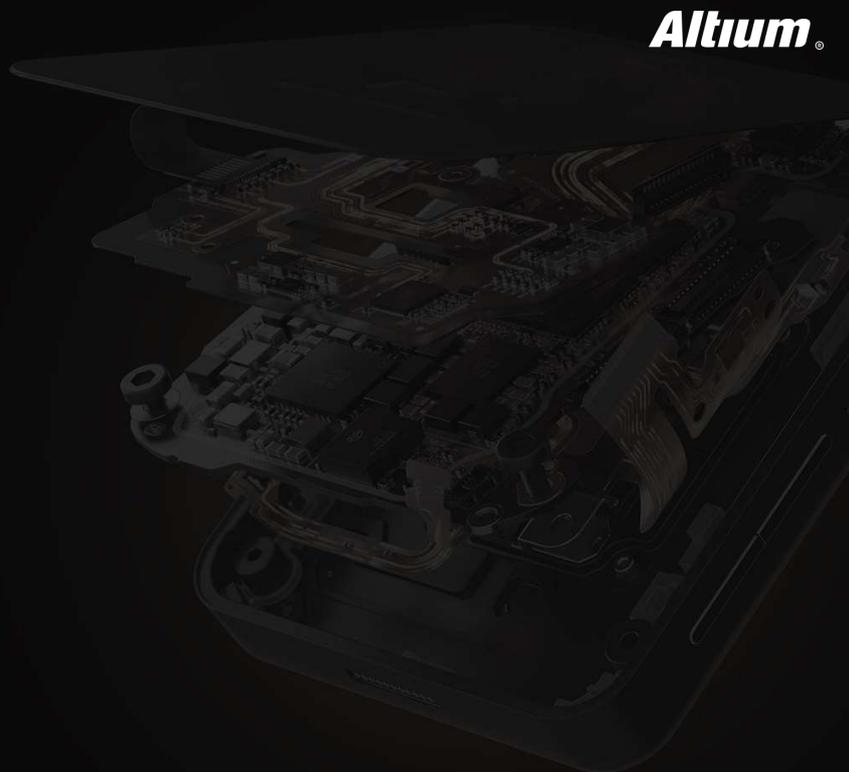
### ▶ EEPROM电路布线要求

- (1) 控制50欧姆阻抗。
- (2) 两根线并行走，与其他信号线保持3W以上的间距。
- (3) 尽量在表层走线；如需换层，需要有完整的参考平面，保持阻抗连续性；并保证过孔数量不超过3个。  
且在换层处100mil以内添加一个或者两个回流地过孔。



## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM（同步动态随机存储器）

#### ➤ 管脚定义解释

信号名。	功能描述。
CLK。	时钟。
CKE。	时钟使能。
CS#。	片选。
WE#。	读写。
RAS#。	列选。
CAS#。	行选。
DQM。	数据掩码。
BA0, BA1。	Bank 选择。
A0-A11。	地址。
DQ0-DQ15。	数据（输出）。
VDDQ。	DQ 电源。
VSSQ。	DQ 地。
VDD。	电源。
VSS。	地。

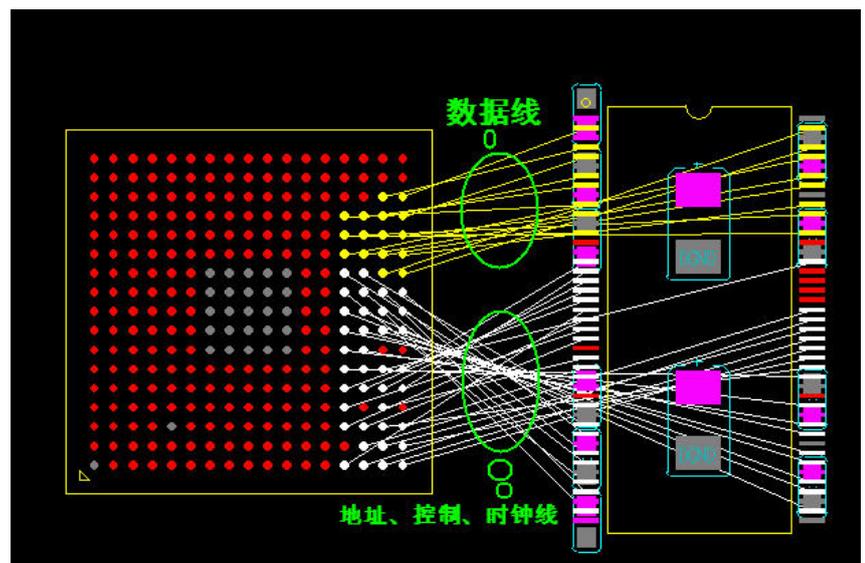
## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的布局原则：

靠近CPU放置

- SDRAM X 1片时：点对点的布局方式
- SDRAM到CPU的中心距离为：
  - 当中间无排阻时：900-1000mil
  - 当中间有排阻时：1000-1300mil



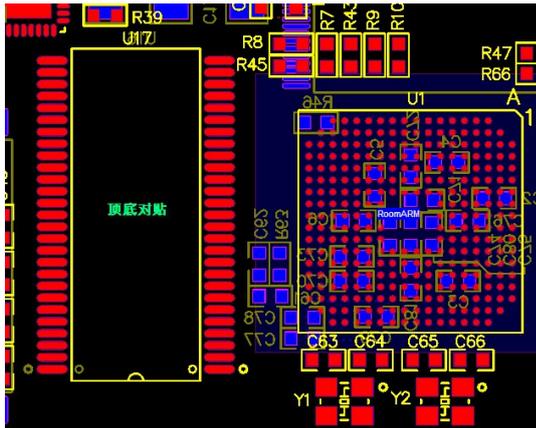
## 随机存储器-动态RAM SDRAM



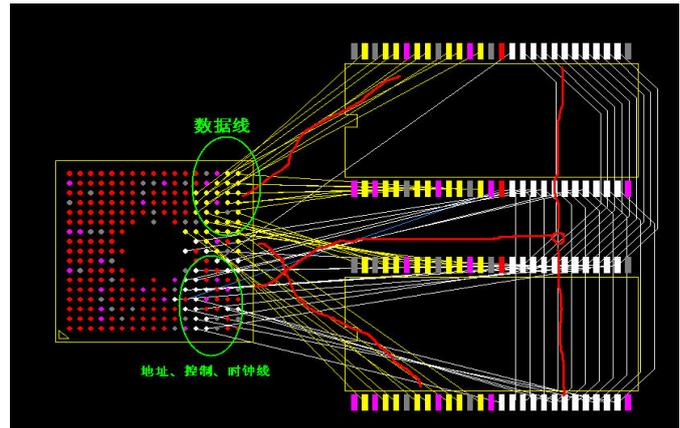
### ➤ SDRAM的布局原则：

- SDRAM X 2片时：相对于CPU严格对称

方案一：顶底对贴（推荐）



方案二：与CPU放在同一面



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的布线

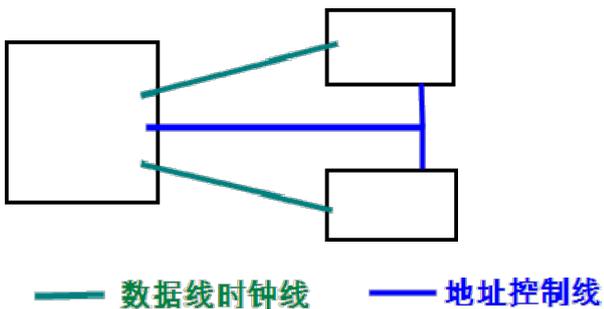
- 特性阻抗：50欧姆
- 数据线每9根尽量走在同一层(D0~D7,LDQM;D8~D15,HDQM)
- 数据线、地址（控制）线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W
- 空间允许的情况下,应该在它们走线之间加一根地线进行隔离。地线宽度推荐为15-30mil
- 完整的参考平面
- 布线拓扑结构(默认采用远端分支)-T点(过孔)打在两片SDRAM中间

## 随机存储器-动态RAM SDRAM

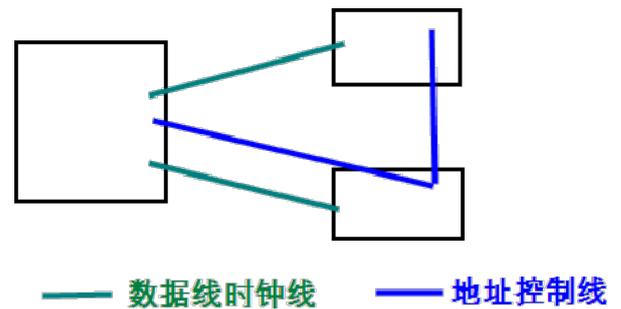


### ➤ SDRAM的拓扑结构

远端分支(星形/T形)



菊花链



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的等长布线

#### ➤ Class规则:

将所有数据线设为s dram\_data\_bus;

地址线,控制线,时钟线设为s dram\_addr\_bus

#### ➤ 等长规则:

所有信号线参照时钟线的长度等长

#### ➤ 误差范围:

数据线误差范围控制在+/- 50mil

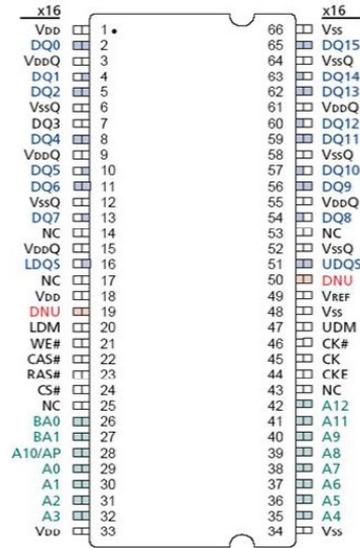
地址线误差范围控制在+/- 100mil

# 随机存储器-动态RAM DDR



## DDR的设计

### 管脚定义解释



DDR SDRAM 封装结构图

管脚数	信号名	功能描述
2	CK, CK#	全局时钟输入。
1	CKE	时钟使能信号输入。
1	CS#	片选信号输入。
3	RAS#, CAS#, WE#	命令信号输入。
2	LDM, UDM	数据 mask 信号输入。
13*	A<0..12>	地址信号输入。
2	BA0, BA1	BANK 选择信号输入。
16*	DQ<0..15>	数据信号输入/输出。
2	LDQS, UDQS	数据锁存信号输入/输出。
5*	NC	空引脚。
2	DNU	不使用引脚。
5	VDDQ	DQ 电源电压 (2.5V)。
5	VSSQ	DQ 地。
3	VDD	器件电源电压 (2.5V)。
3	VSS	器件地。
1	VREF	SSTL_2 参考电压。

DDR SDRAM 管脚功能说明

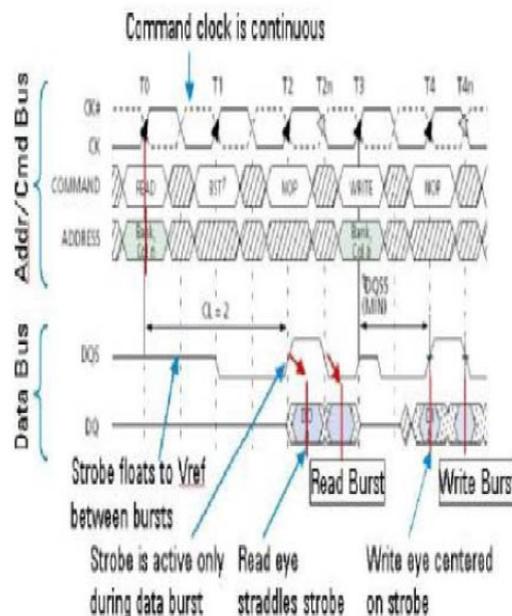
# 随机存储器-动态RAM DDR



## DDR的设计

### 工作原理:

- 一. DDR的读写操作时序如图所示。图中，命令信号与地址信号参考CK信号上升沿输入到DDR。
- 二. 读数据时DQ随着DQS并参考DQS信号沿输出，写数据时DQ随着DQS并参考DQS的信号沿输入，读写数据时DQS都是双沿有效。
- 三. 读数据时，输出的DQS由送入DDR的差分时钟CK/CK#使用DDR存储器中的一个DLL生成DQS，并使之与输出数据对齐。
- 四. 虽然DDR存储器不用差分输入时钟来发送或接收数据，但是所用DQS信号与输入时钟的频率有关。

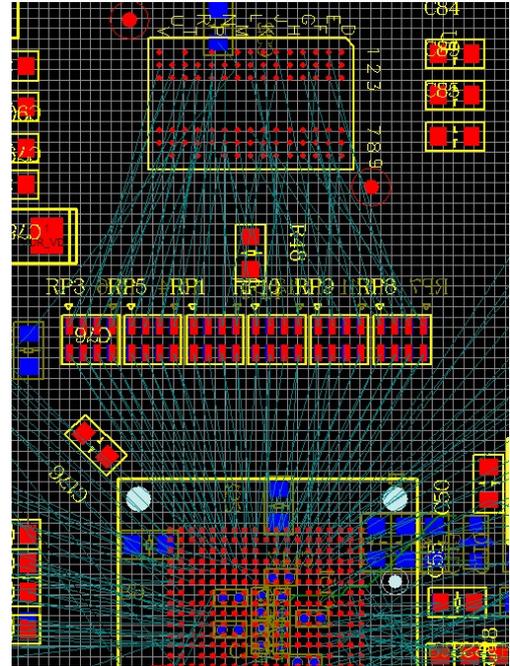


# 随机存储器-动态RAM DDR



## ➤ DDR的布局

- 布局原则是：靠近CPU摆放
- DDRx1片时，点对点的布局方式
- DDR到CPU推荐的中心距离：
  - 当中间无排阻时：900-1000mil
  - 当中间有排阻时：1000-1300mil

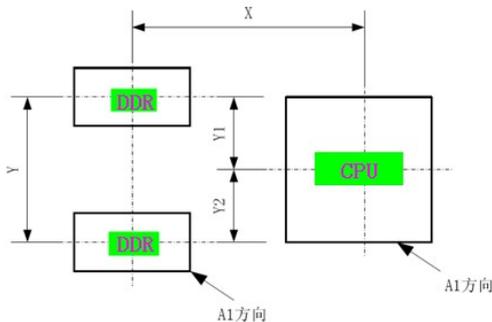


# 随机存储器-动态RAM DDR

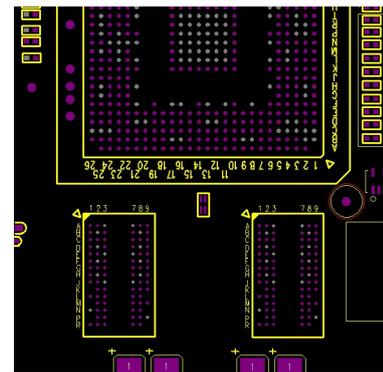


## ➤ DDR的布局

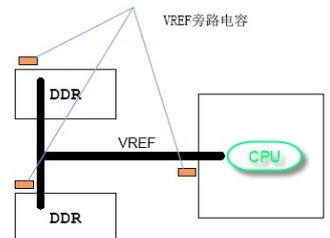
- DDRx2片时,相对于CPU严格对称



- $X < 1660\text{mil}$
- $Y < 1280\text{mil}$
- $Y1 = Y2 < 650\text{mil}$



## ➤ VREF电容的位置



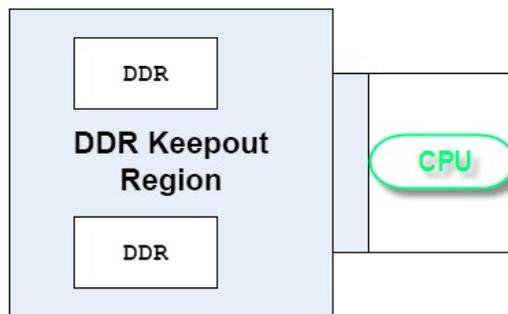
## 随机存储器-动态RAM DDR



### ➤ DDR保护区域

DDR2 保护区域 (Keepout Region): DDR2 内存组, 所有同 DDR 相关的阻容电路, 一直向 CPU 方向延伸至 CPU 的 DDR 控制器, 称为 DDR 保护区域 (DDR Keepout Region)。这个区域里需满足以下条件:

- 不得出现与 DDR 无关的信号。
- 必须提供完整的地平面 (信号线下方地平面不得中断)。
- 必须提供完整的 VCC\_1V8 电源平面 (信号线下方电源平面不得中断)。



## 随机存储器-动态RAM DDR



- 特性阻抗:单端50欧,差分100欧
- 数据线每10根尽量走在同一层 (D0~D7,LDM,LDQS)( D8~D15,UDM,UDQS )

- 信号线的间距满足3W原则

### ➤ DDR的布线

- 数据线、地址 (控制) 线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W
- 完整的参考平面
- VREF电源走线推荐  $\geq 20 \sim 30$ mil
- 误差范围:  
差分对误差严格控制在5mil  
数据线误差范围控制在  $\pm 25$ mil  
地址线误差范围控制在  $\pm 100$ mil

## 随机存储器-动态RAM DDR



### ➤ Class规则

将数据类设为2组Class(D0~D7,LDM,LDQS)(D8~D15,UDM,UDQS);  
地址线,控制线,时钟线设为1组Class

### ➤ DDRx1片的等长布线

#### ➤ 等长规则:

所有信号线参照时钟线的长度等长

#### ➤ 误差范围:

数据线误差范围控制在 $\pm 25\text{mil}$

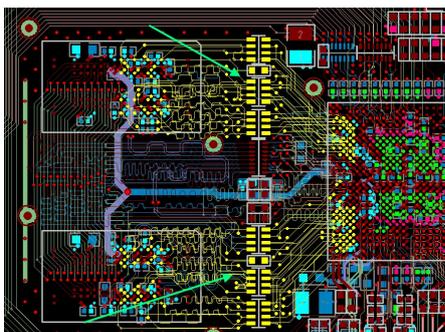
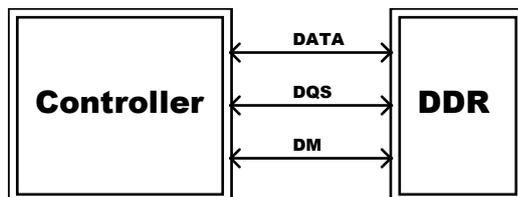
地址线误差范围控制在 $\pm 100\text{mil}$

## 随机存储器-动态RAM DDR

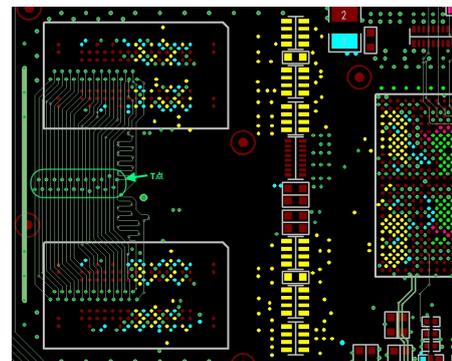
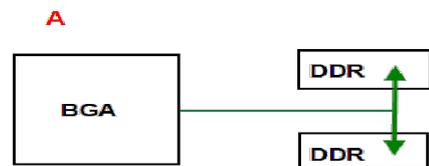


### ➤ DDRx2片的等长布线

#### ➤ 数据类拓扑结构:点到点



#### ➤ 地址类拓扑结构:星形

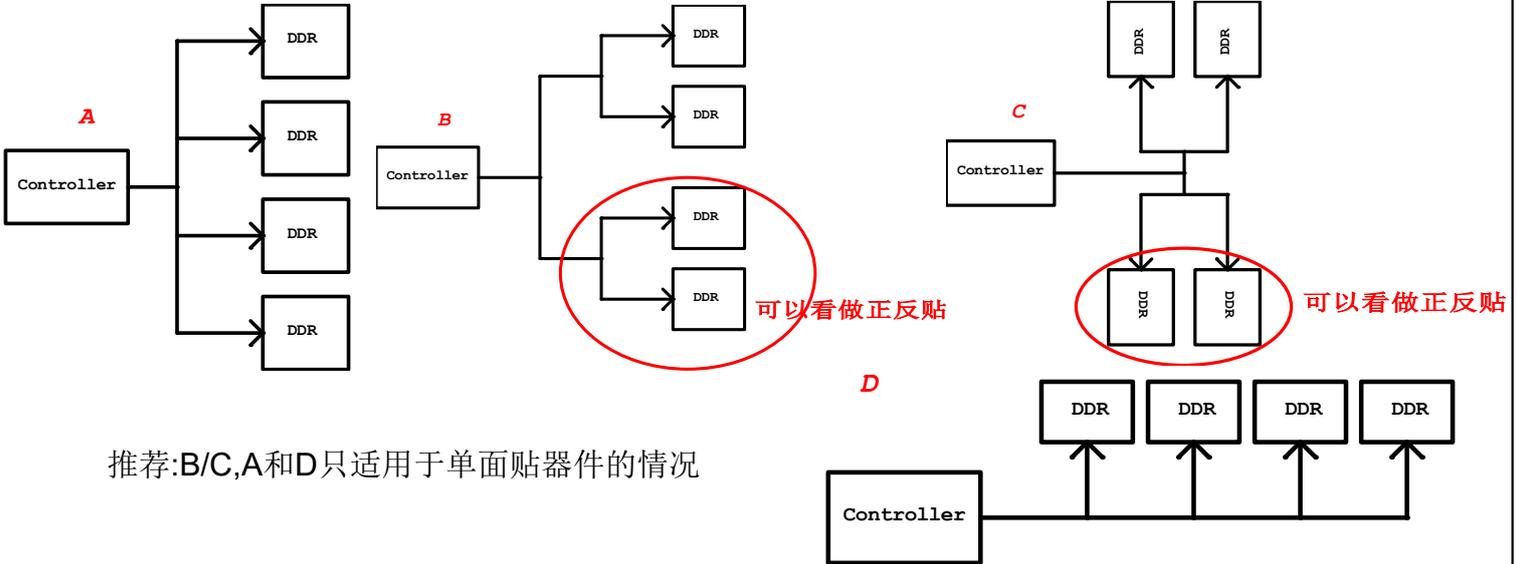


# 随机存储器-动态RAM DDR



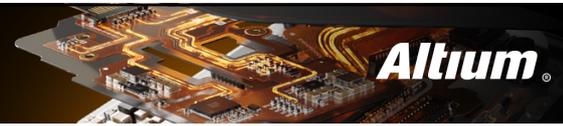
## DDRx4片的等长布线

仍然可以套用两片时的拓扑，只是将树或者星做大



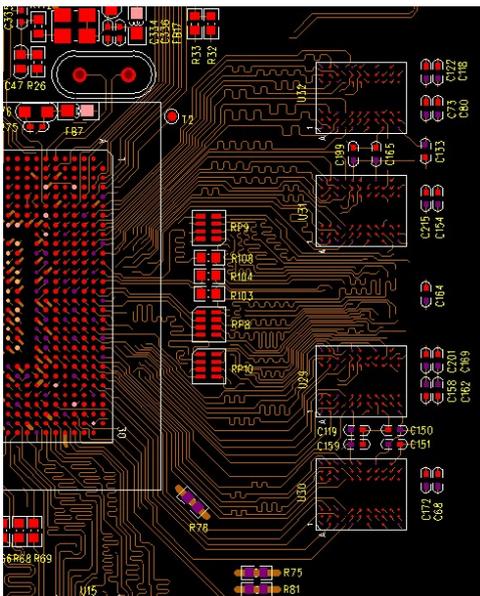
推荐:B/C,A和D只适用于单面贴器件的情况

# 随机存储器-动态RAM DDR

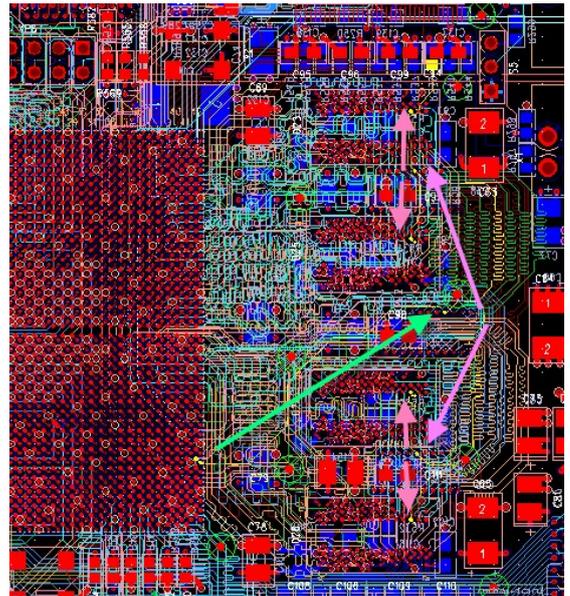


## DDRx4片的等长布线

A型



B型

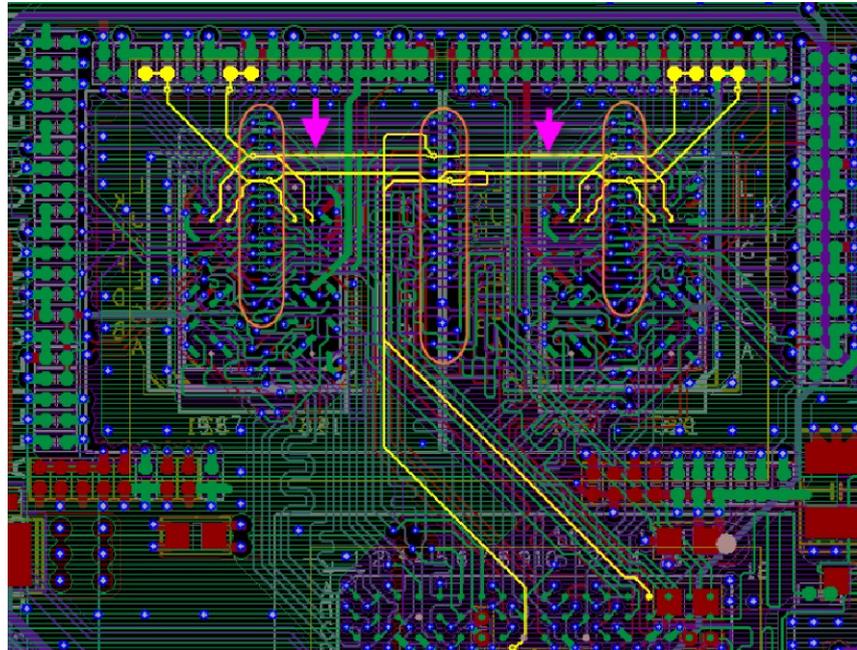


# 随机存储器-动态RAM DDR



➤ DDRx4片的等长布线

C型

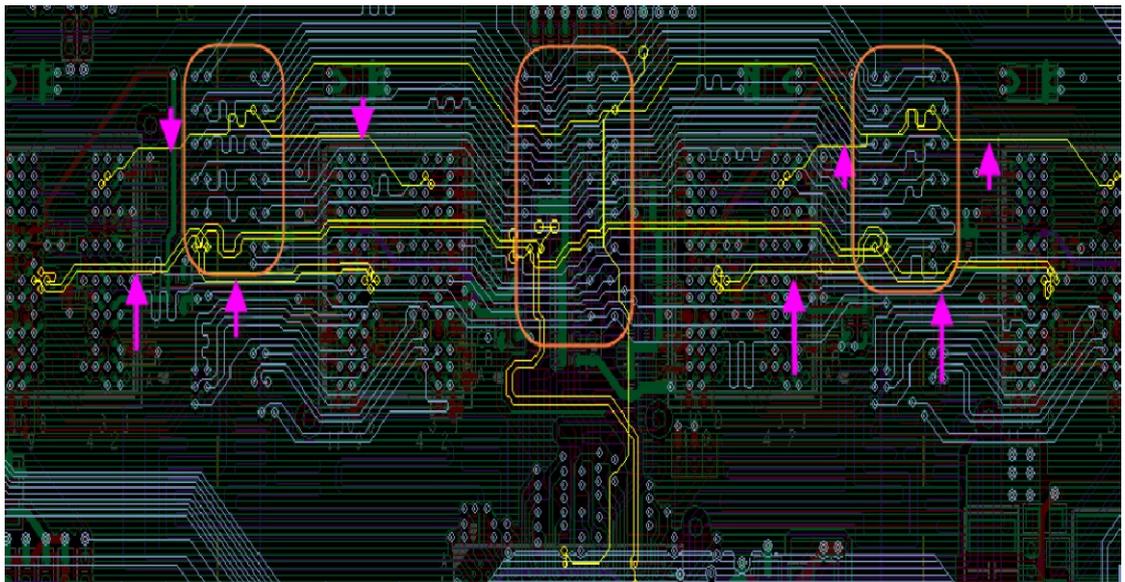


# 随机存储器-动态RAM DDR

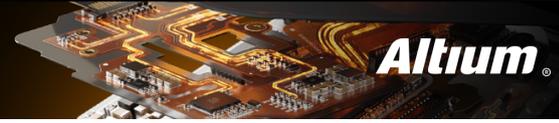


➤ DDRx4片的等长布线

D型



# 随机存储器-动态RAM DDR



## ➤DDR的时序设计

➤DDR(采用树形或者星型拓扑)

DQSL/DQ SH	严格等长设计，误差控制在 ± 25mil		尽量控制等长
DQ0~DQ16			
DQML/DQ MH			
CLK/CLK#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
A0~A11	等长设计，控制在 ± 100mil		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

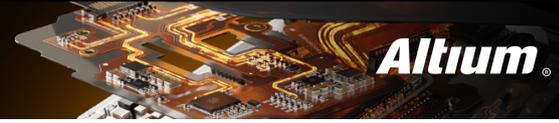
# 随机存储器-动态RAM DDR2



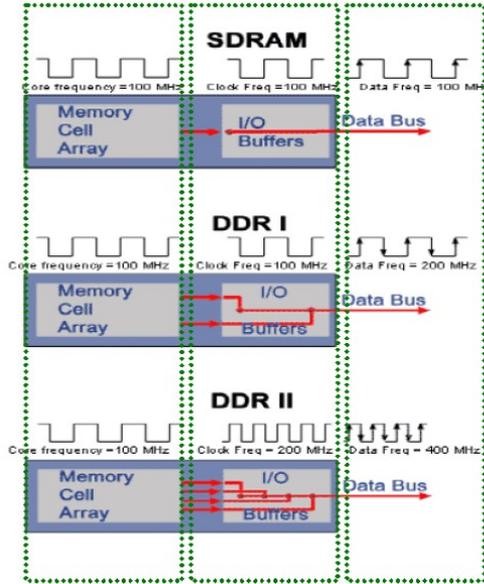
## ➤DDR VS DDR2

Memory Type	DDR	DDR2
Core Voltage(VDD)	2.5V	1.8V
I/O Voltage (VDDQ)	SSTL_2(2.5V)	SSTL_1.8(1.8)
Data Rate	200/266/333/400Mbps	400/533/667/800Mbps
Bus Frequency	100/133/166/200MHz	200/266/333/400MHz
Core Frequency	100/133/166/200MHz	100/133/166/200MHz
Pre-fetch	2-bit	4-bit
Burst Length	2/4/8	4/8
Data Strobe	Single DQS	Differential DQS, /DQS
Write Latency	1 clock	(Read Latency-1) clock
CAS Latency	1.5, 2, 2.5	3, 4, 5
Package	x4/x8/x16: 66-pin TSOP(II) x4/x8/x16: 60-ball FBGA	x4/x8: 60 ball FBGA x16: 84 ball FBGA
New Features		OCD ODT Posted CAS

# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR VS DDR2



Item	DDR2 SDRAM	DDR SDRAM	SDR SDRAM
Prefetch	4 bit	2 bit	1 bit
Internal bus operating frequency	100MHz	100MHz	100MHz
External clock frequency	200MHz	100MHz	100MHz
Data bus speed	400Mbps	200Mbps	100Mbps

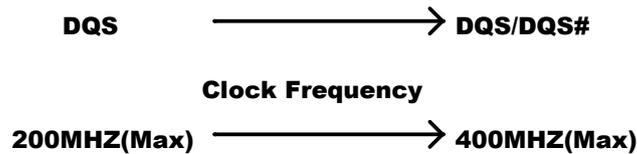
# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的设计

### ➤ DDR新特性:

DDR2可以看做DDR的升级，由于DDR的内部设计使得I/O口的速率最高只能达到200Mhz,而DDR2最高可以提高到400Mhz，也就是DDR2比DDR提高了一倍的速率。在信号管脚上变化的主要是将单端的DQS信号变成了差分的DQS和DQS#。

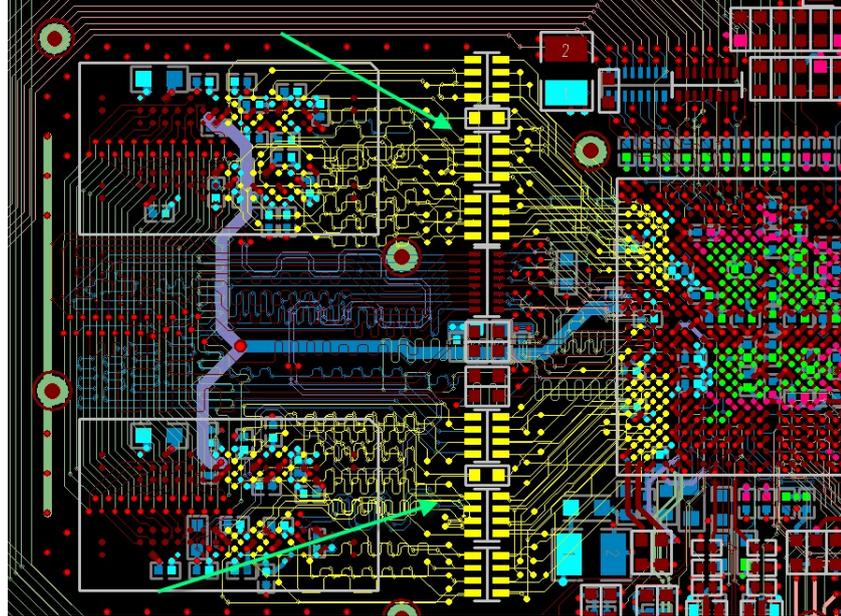


# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的布局

➤ 布局思路同DDR

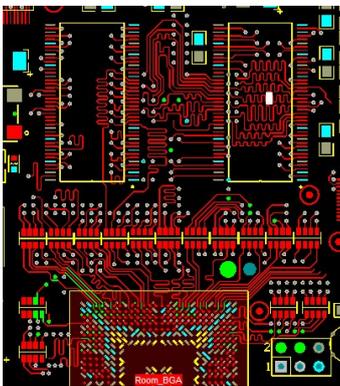


# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2数据匹配电阻的布局

➤ 数据匹配电阻应靠近DDR. 布线也会容易些。  
(数据线是双向传输的，有的核心不一定有ODT功能. 如有ODT功能匹配电阻放那边都没有问题, 当核心没有ODT功能匹配电阻靠CPU就有问题, 所以综合考虑匹配电阻应靠DDR放置)



左图SDRAM的数据线排阻应近SDRAM直接接上可以减少过孔.

Figure 8-11 shows the topology and routing for the DQS and DQ net classes; the routes are point to point. Skew matching across bytes is not needed nor recommended.

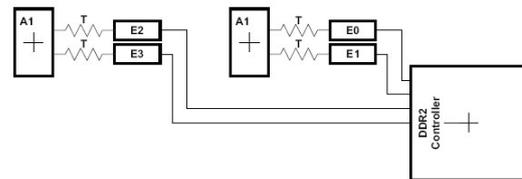


Figure 8-11. DQS and DQ Routing and Topology

Table 8-12. DQS and DQ Routing Specification

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	Center-to-center DQS-DQSn spacing in E0 E1 E2 E3			2w	
2	DQS-DQSn skew in E0 E1 E2 E3			25	Mils
3	Center-to-center DQS to other DDR2 trace spacing <sup>(1)</sup>	4w			
4	DQS/DQ nominal trace length <sup>(2)(3)(4)</sup>	DQLM-50	DQLM	DQLM+50	Mils
5	DQ-to-DQS skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils
6	DQ-to-DQ skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils
7	DQ-to-DQ/DQS via count mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			1	Vias
8	Center-to-center DQ to other DDR2 trace spacing <sup>(1)(5)</sup>	4w			
9	Center-to-center DQ to other DQ trace spacing <sup>(1)(6)(7)</sup>	3w			
10	DQ/DQS E skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils

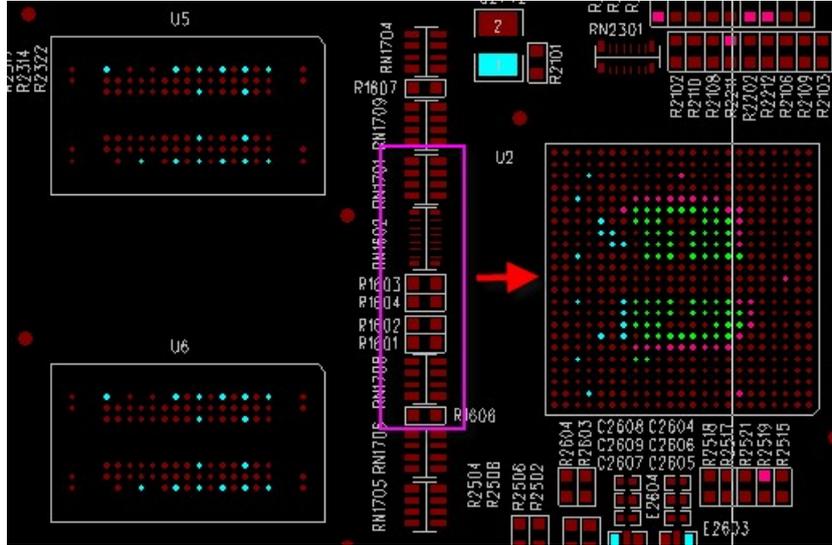
(1) Center-to-center spacing is allowed to fall to minimum (w) for up to 500 mils of routed length to accommodate BGA escape and routing congestion.  
 (2) A 18-bit DDR memory system has two sets of data net classes; one for data byte 0, and one for data byte 1, each with an associated DQS (2 DQSs) per DDR EMIF used.  
 (3) A 32-bit DDR memory system has four sets of data net classes; one each for data bytes 0 through 3, and each associated with a DQS (4 DQSs) per DDR EMIF used.  
 (4) There is no need, and it is not recommended, to skew match across data bytes; i.e., from DQS0 and data byte 0 to DQS1 and data byte 1.  
 (5) DQs from other DQS domains are considered other DDR2 trace.  
 (6) DQs from other data bytes are considered other DDR2 trace.  
 (7) DQLM is the longest Manhattan distance of each of the DQS and DQ net classes.

# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2地址线匹配电阻的布局

➤ DDR2地址线匹配电阻位置应靠近核芯



# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的布线

- 特性阻抗:单端50欧,差分100欧
- 数据线每11根尽量走在同一层
- (D0~D7, DQM0,DQS0\_N,DQS0\_P)
- (D8~D15, DQM1,DQS1\_N,DQS1\_P)
- (D16~D23,DQM2,DQS2\_N,DQS2\_P)
- (D24~D31,DQM3,DQS3\_N,DQS3\_P)

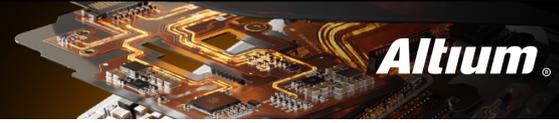
DDR2x1片

DDR2x2片

❖ 误差范围:  
差分对误差严格控制在5mil  
数据线误差范围控制在+/- 15mil  
地址线误差范围控制在+/- 100mil

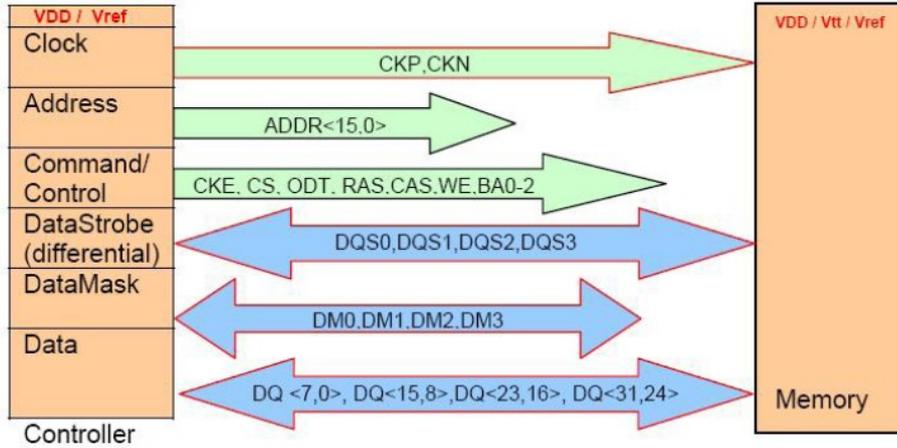
- 信号线的间距满足3W原则
- 数据线、地址（控制）线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W
- 完整的参考平面
- VREF电源走线推荐>=20~30mil

## 随机存储器-动态RAM DDR2



### ➤ DDR2的布线

- DQGATE组分为低16位和高16位  $DQGATE\_L = DDRCLKOUTP + (DDRQDS0P + DDRQDS1P) / 2$
- 布线拓扑：布线长度误差控制在100mil  $DQGATE\_H = DDRCLKOUTP + (DDRQDS2P + DDRQDS3P) / 2$



## 随机存储器-动态RAM DDR2



### DDR2 (采用树形或者星型拓扑)

### ➤ DDR2芯片时序设计

DQSH/DQSH#	严格差分等长设计	严格等长设计, 控制在 ± 15mil	尽量控制等长
DQSL/DQSL#	严格差分等长设计		
DQ0~DQ16	严格等长设计, 控制在 ± 15mil		
DQML/DQML#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
CLK/CLK#	严格差分等长设计		
A0~A11	等长设计, 控制在 ± 100mil		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

## 随机存储器-动态RAM DDR3



### ➤ DDR3的设计

#### ➤ DDR3的新特性

DDR3和DDR2在信号定义上基本上是一样的，信号定义上变化很小，大家可以看到有些芯片上会出现两根新的信号TDQS/TDQS#，它只是在8位RAM上会使用到，4位和16位的RAM不会用到他们，所以我们这里不特别阐述，我们可以简单的把它看做单向传输的DQS信号(RAM->Controller)，将其和DQS/DQS#,DATA, DM归为一组即可。

## 随机存储器-动态RAM DDR3



### ➤ DDR3与DDR2的比较

Technology	DDR2	DDR3
Max Clock Freq. (MHz)/Data rate(Mbps)	533/1066	800/1600
Power Requirement		
VDD (Volts)	1.8 +/- 0.1	1.5 +/- 0.075
Vtt (Volts)	0.9 +/- 0.04	0.75 +/- TBD
Vref (Volts)	0.9 +/- 0.018	0.75 +/- 0.015
Input Thresholds		
Vih/Vil (Volts)	0.9 +/- 0.2	0.75 +/- 0.175
Delay Matching Requirement		
Match ADDR/CMD/CNTRL to Clock tightly	Yes	Yes
Match DQ<7,0>, DM0 to DQS0 tightly	Yes	Yes
Match DQ<15,8>, DM1 to DQS1 tightly	Yes	Yes
Match DQ<22,16>, DM2 to DQS2 tightly	Yes	Yes
Match DQ<31,23>, DM3 to DQS3 tightly	Yes	Yes
Match DQS0-3 to Clock loosely	Yes	Not required

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ► DDR3与DDR、DDR2的比较

	DDR	DDR2	DDR3
时钟频率	100/133/166/200MHz	200/266/333/400MHz	400/533/667/800MHz
数据传输速率	200/266/333/400Mbps	400/533/667/800Mbps	800/1066/1333/1600Mbps
输入/输出位宽	x4/x8/x16/x32	x4/x8/x16	x4/x8/x16
预取宽度	2位	4位	8位
突发长度	2, 4, 8	4, 8	8
数据选通 (DQS)	单线	单线/差分	差分
电源电压	2.5V±0.2V	1.8V±0.1V	1.5V±0.075V
接口类型	SSTL_25	SSTL_18	SSTL_15
CAS延迟 (CL)	2, 2.5, 3时钟频率	3, 4, 5时钟频率	5, 6, 7, 8, 9, 10时钟频率
片内终结器 (ODT)	不支持	支持	支持
封装类型	66pin TSOP2 60pin BGA	60pin BGA (x4, x8) 84pin BGA (x16)	78pin BGA (x4, x8) 96pin BGA (x16)
Write Leveling	不支持	不支持	支持

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ► DDR3的等长

### ► 地址线长度要求

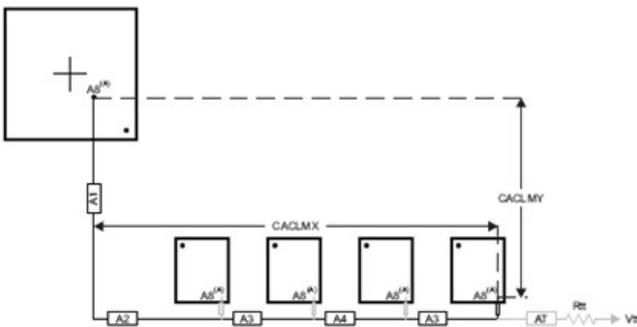


Table 8-24. CK and ADDR\_CTRL Routing Specification<sup>(1)(2)</sup>

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	A1+A2 length			2500	mil
2	A1+A2 skew			25	mil
3	A3 length			600	mil
4	A3 skew <sup>(3)</sup>			25	mil
5	A3 skew <sup>(4)</sup>			125	mil
6	A4 length			600	mil
7	A4 skew			25	mil
8	A5 length			100	mil
9	A5 skew			100	mil
10	AS+AS- length			70	mil
11	AS+AS- skew			5	mil
12	AT length <sup>(5)</sup>			600	mil
13	AT skew <sup>(6)</sup>			100	mil
14	AT skew <sup>(7)</sup>			5	mil
15	CK/ADDR_CTRL nominal trace length <sup>(8)</sup>	CACLM-50	CACLM	CACLM+50	mil

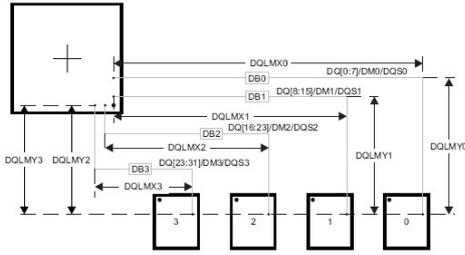
# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3的等长

### ➤ 数据线长度要求

DDR3数据线以  
DQS为基准25mil



DB0 - DB3 represent data bytes 0 - 3.  
There are four DQLMs, one for each byte (32-bit interface). Each DQLM is the longest Manhattan distance of the byte; therefore:  
 $DQLM0 = DQLMX0 + DQLMY0$   
 $DQLM1 = DQLMX1 + DQLMY1$   
 $DQLM2 = DQLMX2 + DQLMY2$   
 $DQLM3 = DQLMX3 + DQLMY3$

Table 8-25. Data Routing Specification<sup>(1)</sup>

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	DB0 nominal length <sup>(2)(3)</sup>			DQLM0	mil
2	DB1 nominal length <sup>(2)(4)</sup>			DQLM1	mil
3	DB2 nominal length <sup>(2)(5)</sup>			DQLM2	mil
4	DB3 nominal length <sup>(2)(6)</sup>			DQLM3	mil
5	DBn skew <sup>(7)</sup>			25	mil
6	DQSn+ to DQSn- skew			5	mil
7	DQSn to DBn skew <sup>(7)(8)</sup>			25	mil
8	Center-to-center DBn to other DDR3 trace spacing <sup>(9)(10)</sup>		4w		
9	Center-to-center DBn to other DBn trace spacing <sup>(9)(11)</sup>		3w		
10	DQSn center-to-center spacing <sup>(12)</sup>				
11	DQSn center-to-center spacing to other net <sup>(9)</sup>		4w		

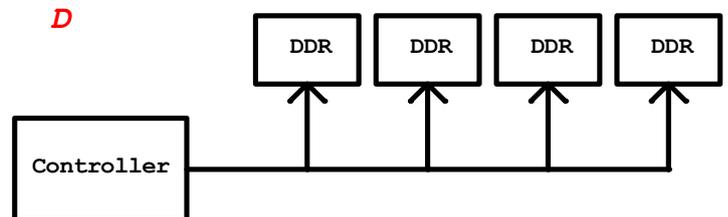
(1) External termination disallowed. Data termination should use built-in ODT functionality.  
 (2) DQLMn is the longest Manhattan distance of a byte. For definition, see Section 8.3.2.16.2 and Figure 8-39.  
 (3) DQLM0 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 0.  
 (4) DQLM1 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 1.  
 (5) DQLM2 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 2.  
 (6) DQLM3 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 3.  
 (7) Length matching is only done within a byte. Length matching across bytes is neither required nor recommended.  
 (8) Each DQS pair is length matched to its associated byte.  
 (9) Center-to-center spacing is allowed to fall to minimum for up to 1250 mils of routed length.  
 (10) Other DDR3 trace spacing means other DDR3 net classes not within the byte.  
 (11) This applies to spacing within the net classes of a byte.  
 (12) DQS pair spacing is set to ensure proper differential impedance.]

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3的拓扑结构

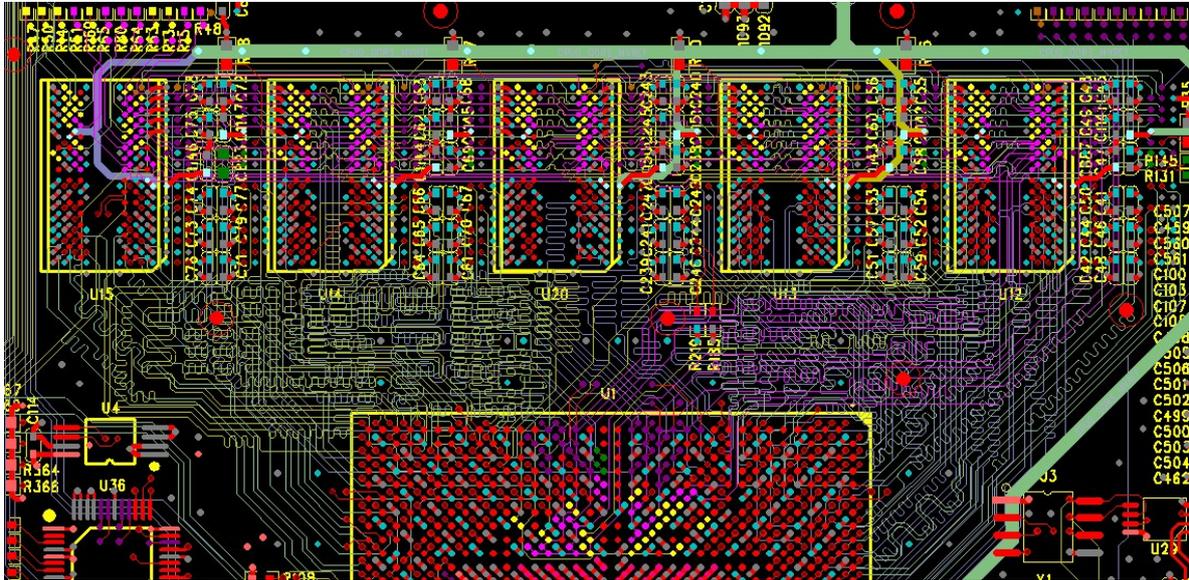
DDR3的地址拓扑和DDR2, DDR一样, 只是由于其速率更高(最高可达到1.6Gbps), 所以除了时序, 信号完整性也成了我们需要关注的要点, 前文提到的在多片DDR设计时采用的4种拓扑, 我们在进行DDR3设计, 尤其是当速率跑到1.6Gbps时, 通过仿真我们发现4种拓扑中只有D, 即菊花链拓扑满足信号完整性要求, 但是这里并不是说其他3种拓扑不适用, 只是在满足时序要求的情况下, D型拓扑能最好的达到信号完整性的要求。



# 随机存储器-动态RAM DDR3



## DDR3的拓扑结构

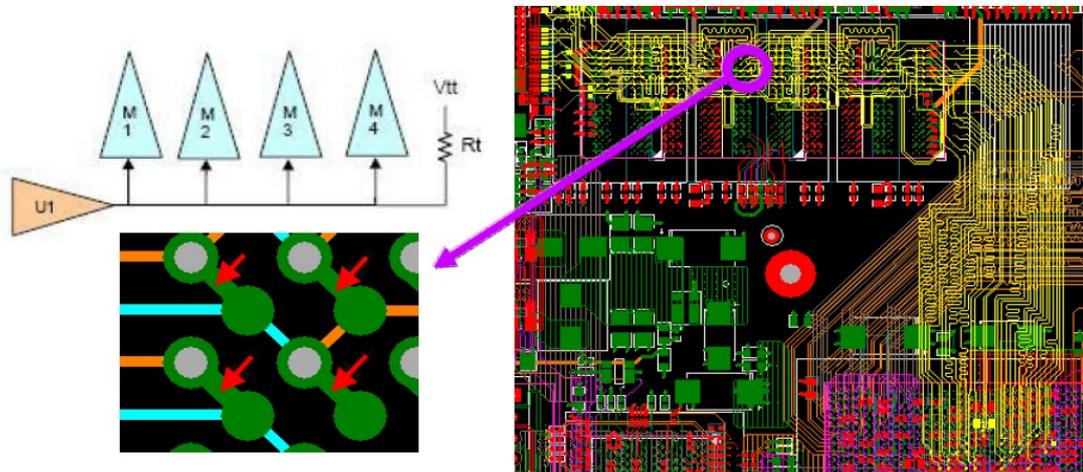


# 随机存储器-动态RAM DDR3



## DDR3的布局布线实例

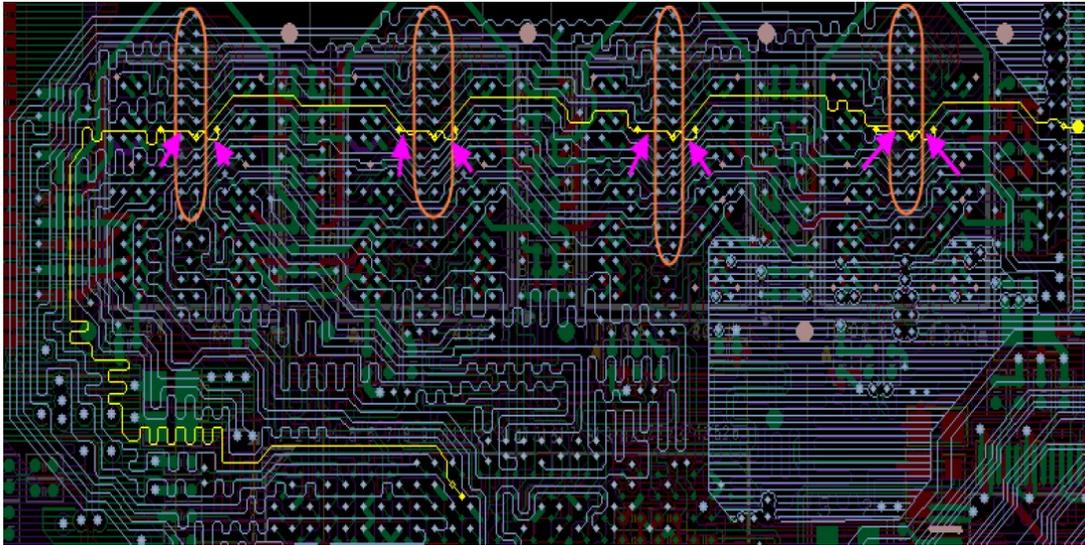
- 地址线布局布线要求优选F ly-By, 过孔到管脚长度尽量短, 长度在150mil左右



# 随机存储器-动态RAM DDR3



- DDR3的布局布线实例
  - 8颗DDR3正反对贴布线示例



# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3芯片设计总结

➤ DDR3(采用树形或菊花链拓扑)

TDQS/TDQS#(8位RAM专用)	严格差分等长设计	严格等长设计, 控制在 ±10mil	尽量控制等长
DQSH/DQSH#	严格差分等长设计		
DQSL/DQSL#	严格差分等长设计		
DQ0~DQ16	严格等长设计, 控制在 ±10mil	尽量控制等长	
DQML/DQMH			
CLK/CLK#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
A0~A11	尽量控制等长, 控制在 ±100mil如果是菊花链拓扑则走线越短越好		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

## 随机存储器-动态RAM DDR4



### DDR4新特点:

- 一. 8位预读取, 外部时钟频率是内部时钟频率的八倍, 数据传输率最高可达3.2Gbps;
- 二. 内核电压仅为1.2V;

### 布局布线要求基本同DDR3;

### 等长要求(推荐以Layout Guide为准、以仿真结果为准):

- 一. 数据线最大长度尽量不超过2500mil, 组内长度误差范围控制在 $\pm 5\text{mil}$ , 得益于Write Leveling技术, DQS与时钟线一般无长度误差要求, 注意尽量查阅Layout Guide或datasheet, 部分芯片会有组间、以及DQS与时钟线的等长要求;
- 二. 地址线误差范围控制在 $\pm 20\text{mil}$ ;
- 三. DQS、时钟差分对内误差范围控制在 $\pm 3\text{mil}$ , 设计阻抗时, 使本对内间距不超过2倍线宽;

## 随机存储器-动态RAM RDRAM



➤ RDRAM是由Rambus公司推出的一种采用双沿触发技术的内存, 有16/18bit (ECC) 两种规格, 能在很高的频率范围内通过一个简单的总线传输数据

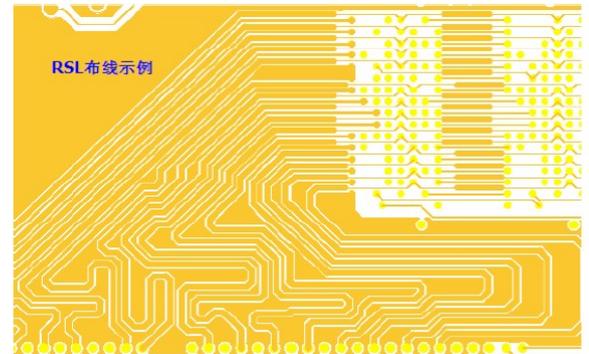
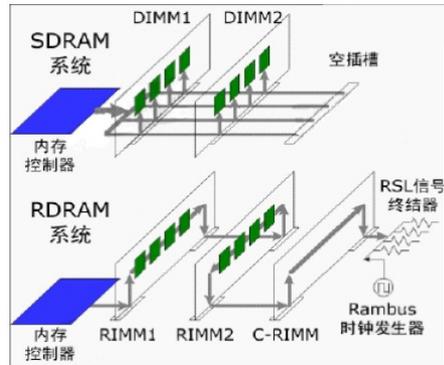
### ➤ 功能管脚说明

信号名	类型	电平	功能描述
DQA (8: 0)	I/O	RSL	数据字节 A。在通道与 RDRAM 器件间进行一个字节的信号传递。在 x16 的系统中 DQA (8) 将不使用。
DQB (8: 0)	I/O	RSL	数据字节 B。在通道与 RDRAM 器件间进行一个字节的信号传递。在 x16 的系统中 DQB (8) 将不使用。
RQ (7: 5) 或 ROW (2: 0)	Input	RSL	行访问控制。传递行访问的控制与地址信号。
RQ (4: 0) 或 COL (4: 0)	Input	RSL	行访问控制。传递行访问的控制与地址信号。
CFM, CFMN	Input	RSL	Clock From Master。从通道中接收 RSL 信号的差分接口时钟。
CTM, CTM#	Input	RSL	Clock To Master。发送 RSL 信号到通道的差分接口时钟。
CMD	Input	CMOS	串行命令输入。与 S100 和 S101 一起用于读写控制寄存器, 也用于电源管理。
SCK	Input	CMOS	串行时钟输入。用于读写 RDRAM 控制寄存器的时钟源。
SI01, SI00	I/O	CMOS	串行输入输出。通过串行协议读写控制寄存器, 也用于电源管理。
Vref		DC	RSL 信号的逻辑门限参考电压。
Vcmos		DC	CMOS 输入输出管脚的电源电压。
Vdda		DC	RDRAM 模拟电路的电源电压。
Vdd		DC	RDRAM 内核与接口逻辑的电源电压。
GNDa		DC	RDRAM 模拟电路的地参考。
GND		DC	RDRAM 内核与接口逻辑的地参考。

## 随机存储器-动态RAM RDRAM



### ➤ RDRAM与 SDRAM架构 比较



特点:

- 1.信号线数目较少，所有信号均为串联接法;
- 2.工作频率极高，所有RSL电平信号都要包地，并以地平面为参考;
- 3.DQ、RQ、和CTM、SCK、CMD等信号的走线长度在分段过程中每一段的长度都必须匹配，匹配的计算不仅包括走线，还包括管脚长度，误差控制在 $\pm 10\mu\text{m}$ 以内;

## Agenda



- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM

# 随机存储器-静态RAM SRAM



## ➤ SRAM的特点

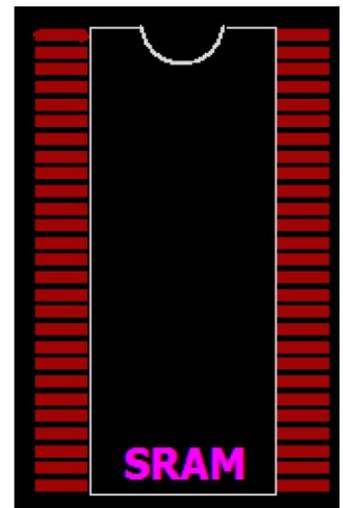
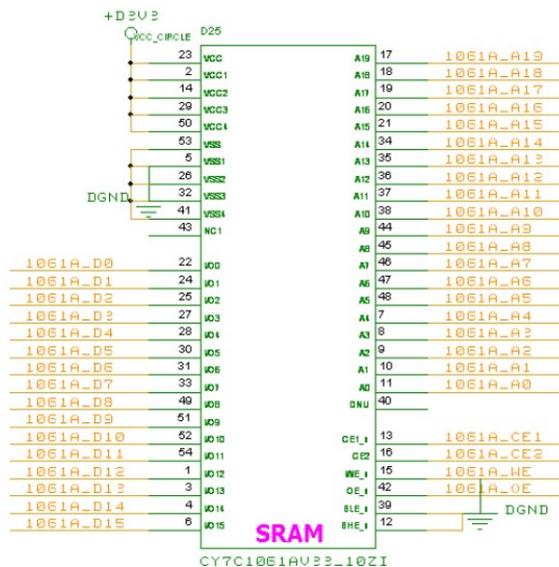
- SRAM是Static RAM缩写，即静态随机存储器，它是一种具有静止存取功能的内存，不需要刷新电路就能保持内部存储数据的有效性，但断电后，数据仍然会丢失
- SRAM存取速度快，但比相同容量的DRAM体积大，功耗也大，因此目前单片SRAM容量一般都是几百K到几十M

# 随机存储器-静态RAM SRAM



## ➤ SRAM的特点

➤ 右图为SRAM,目前SRAM运用较为广泛的是QDR SRAM系列

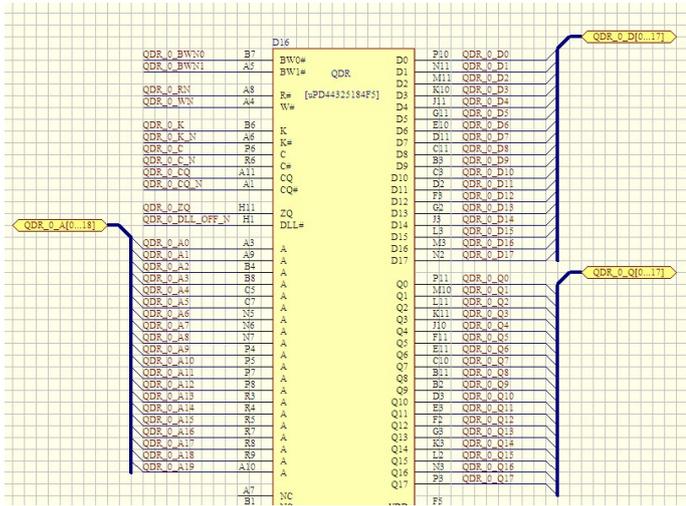


# 随机存储器-静态RAM QDR



## QDR的设计

QDR的新特性: 可在一个时钟周期内传送四次数据 (两次读与两次写数据)



信号名。	功能描述。
K, K#。	输入时钟。
C, C#。	用于输出数据的输入时钟。
SA。	地址信号输入。
D0-17 (35)。	数据信号输入。
Q0-17 (35)。	数据信号输出。
W#。	写操作控制信号。
R#。	读操作控制信号。
BW0#- BW 1 (3) #。	字节写控制信号。
Vref。	输入参考电平。
ZQ。	输出驱动器阻抗控制端。
VDD。	电源电压 (2.5V)。
VDDQ。	输出 IO 电源电压 (1.5V 或 1.8V)。
VSS。	地管脚。
TMS, TCK, TDI, TDO。	JTAG 测试模式控制管脚。

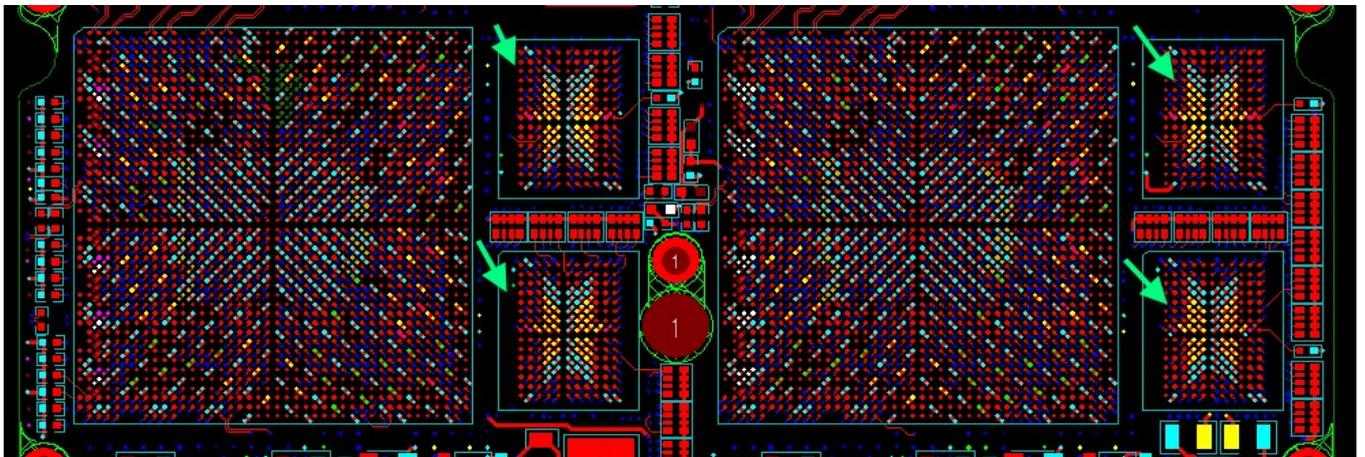
# 随机存储器-静态RAM QDR



## QDR的布局

布局与DDR类似

A型



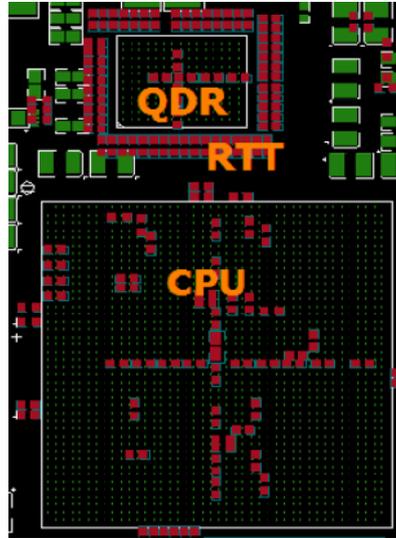
随机存储器-静态RAM QDR



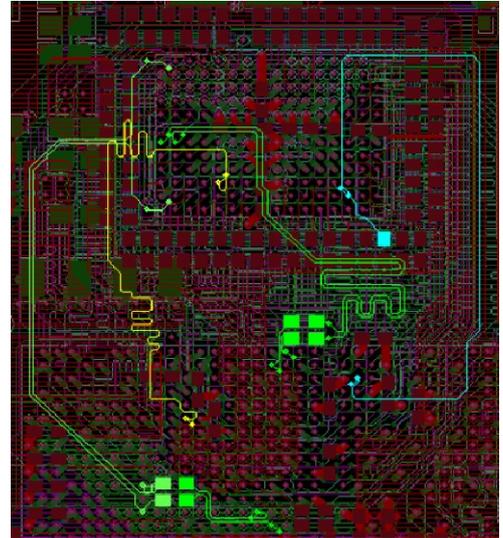
QDR的布局

布局与DDR类似

B型



C型



随机存储器-静态RAM QDR



QDR的时序设计

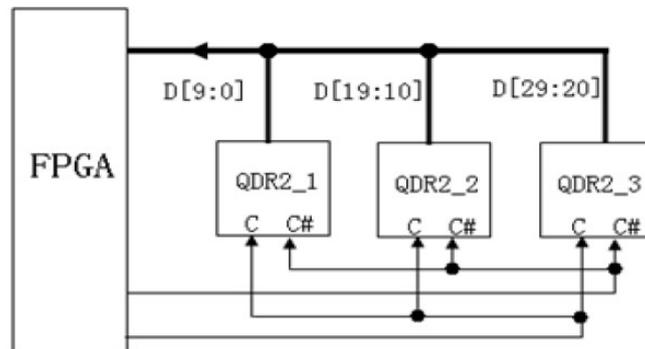
7	QDR信号数据信号	QDR_0_D0-17 QDR_0_Q0-17	组内信号误差25mil正负
8	QDR信号时钟信号	QDR_0_K QDR_0_K_N QDR_0_C QDR_0_C_N QDR_0_CQ QDR_0_CQ_N	时钟差分误差小于10mil 不同差分对尽量等长
9	QDR地址命令控制信号	QDR_0_A0-18 QDR_0_BWN0 QDR_0_BWN1 QDR_0_RN QDR_0_WN QDR_0_ZQ QDR_0_DLL_OFF_N	尽量等长

## 随机存储器-静态RAM QDR



QDR2 SRAM规范中要求K/K#时钟和C/C#时钟的偏移必须大于0，因为QDR的同时读写特点，假设在同一时钟周期内，要对同一个地址的数据进行读操作和写操作，规范要求是，要先进行写操作，后进行读操作，也就是写参考时钟K/K#需要比读参考时钟C/C#先到达。但是，规范中同时规定，C/C#时钟与K/K#时钟之间的skew必须小于三分之一时钟周期。

因此如果将多片QDR2 SRAM器件并联使用的并且有C/C#时钟的话，需要注意C/C#时钟的PCB走线方式，即C/C#时钟须先到达最远端的QDR器件，最后到达最近处的QDR器件，这样，参考时钟信号的延迟正好可以抵消数据信号的延迟，确保几个器件上的数据保持同步，如下图所示。



## 随机存储器-静态RAM QDR

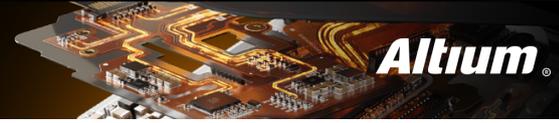


QDR2等长要求(推荐以Layout Guide为准、以仿真结果为准):

- 一. 输入时钟K/K#和写数据信号D[17:0]设为一个组等长，组内误差+/-25mil;
- 二. 输出时钟CQ/CQ#和读数据信号Q[17:0]设为一个组等长，组内误差+/-25mil;
- 三. 其他地址信号和控制信号设为一个组等长，组内误差+/-50mil，同时与系统时钟K/K# 误差+/-100mil，与数据组误差+/-100mil;
- 四. 差分线组内误差+/-5mil;

其实由上述规则可以看出，读、写数据和地址、控制信号，以及输入输出时钟是存在时序关系的，因此，在等长设定时可将左右信号设成一个组等长，误差设为+/-25mil;

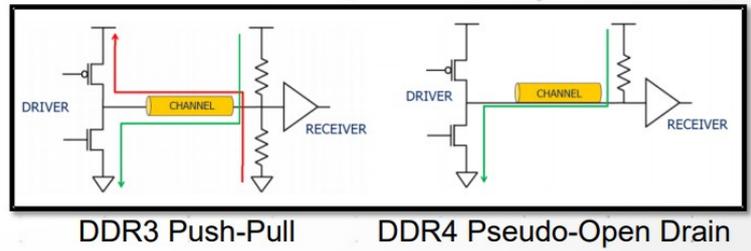
# DDR4



Specification	DDR2	DDR3	DDR4
Voltage	1.8 V	1.5 / 1.35 V	1.2 V
Per Pin Data Rate (Mbps)	400-1066	800-2133	1600-3200
Channel Bandwidth (GBps)	3.2-8.5	6.4-17	12.8-25.6
Component Density	512 MB–2 GB	1-8 GB	2-16 GB

- Lower VDD voltage and Pseudo-Open Drain (POD) reduces power consumption by 40%
- Internal VREF training performed within the IC receiver, to optimize VREF level. Retraining at regular intervals.
- Data lines are calibrated at the IC, to reduce their skew to the strobe.
- Data bus inversion (DBI)

Image Source: Micron Technology



DDR3 Push-Pull

DDR4 Pseudo-Open Drain

# DDR4



## DDR4 High Speed => Less Timing Margin

Shrinking Timing Margins in Picoseconds

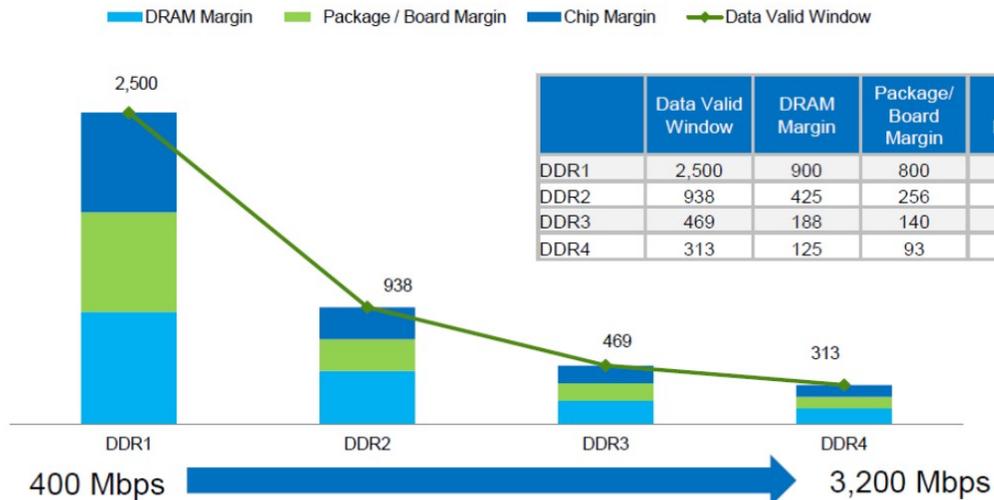


Image Source: Altera

# DDR4



DDRx SDRAM参数						
	DDR	DDR2	LPDDR2	DDR3	LPDDR3	DDR4
速率(Mbps)	200 ~ 400	400 ~800	333 ~ 1066	800 ~ 2133	1333 ~ 2133	1600~3200 (SE) ~6400 (Diff)
VDDQ(V)	2.5	1.8	1.2	1.5	1.2	1.2
电平接口	SSTL_2	SSTL_18	HSUL_12	SSTL_15	HSUL_12	POD12
选通信号	单端	可选单端/差分	差分	差分	差分	差分
ODT	无	有	无	有	可选	有
Slew RateDerating	有	有	有	有	有	无
WriteLeveling	无	无	无	有	有	有
DBI	无	无	无	无	无	有

# DDR4



## DDR3 新功能

- DDR3新增的重置(Reset)功能
- DDR3新增ZO校准功能
- 突发长度(Burst Length, BL), 由于DDR3的预取为8bit, 所以突发传输周期(Burst Length, BL)也固定为8
- 寻址时序(Timing)变化
- 参考电压分成两个VREF将分为两个信号, 即为命令与地址信号服务的VREFCA和为数据总线服务的REFDQ, 这将有效地提高系统数据总线的信噪等级

## DDR4



### DDR4 新功能

- 新的JEDEC POD12接口标准（工作电压1.2V）；
- DBI：可以降低功耗并且提升数据信号完整性；
- Bank群组结构：是个8n预取群组结构，它可以使用两个或者四个Bank组，这允许DDR4内存在每个Bank群组单独被激活、读取、写入或刷新操作，这样可以带来更高的内存速度和带宽；
- 取消了Derating，时序仿真计算不再繁琐；
- DQ动态确定Vref（V\_center），增加了眼图要求；
- 新的终止调度：在DDR4中DQ bus可以转移终止到VDDQ，这样即使VDD电压降低的情况下也能保证稳定；
- 新的数据总线CRC技术，可以进行传输过程中的错误侦测，特别对非ECC内存进行写入操作时有帮助；
- 针对命令和地址总线的新的CA奇偶校验；
- 突发长度和突发停止长度分别为8和4；
- 正常和动态的ODT:改进ODT协议，并且采用新的Park Mode模式可以允许正常终结和动态吸入终结，而不需要去驱动ODT Pin；
- \*Differential Signaling（差分信号技术）

## DDR4 vs DDR3



特点	DDR3	DDR4	备注
信令变化			
电压(内核和I/O)	1.5V	1.2V	降低能耗
低压标准	是(DDR3L@ 1.35V)	预计(DDR4L, 可能1.05V)	内存能耗下降
数据速率(MT/s)	800, 1066, 1333, 1600, 1866, 2133	1600, 1867, 2133, 2400, 2667, 3200	演进到更高速度
密度	512Mb - 8Gb	2Gb - 16Gb	满足更高容量的内存需求
DBI	无	有	更低功耗和更好的信号完整性
DQ驱动器(ALT)	40欧姆	48欧姆	为点到点应用优化
DQ总线	SSTL 15	POD 12	降低I/O噪声和能耗
RTT值	120, 60, 40, 30, 20	240, 120, 80, 60, 48, 40, 34	支持更高的数据速率
堆叠引脚	否	是	适用于未来的更高密度的模块

## DDR4 Skew/等长



	DDR3	DDR4
Source-Synchronous Signal	同组DQ/ECC与对应DQS等长保持在100mil内	同组DQ/ECC与对应DQS等长保持在50mil内
	DQS 差分线对内等长保持在5mil内	DQS 差分线对内等长保持在5mil内
	同组DQ/ECC等长保持在30mil内	同组DO/ECC等长保持在10mil内
	同组信号严格要求同层走线	同组信号严格要求同层走线
Clock Signal	CLK差分线对内等长保持在2mil内	CLK差分线对内等长保持在2mil内
	同一DIMM的CLK之间等长保持在20mil内	同一DIMM的CLK之间等长保持在5mil内
Source Clocked Signal(MA[15:00], BA[2:0], RA S_N, CAS_N, WE_N, MA_PAR)/BG[1:0], ACT_N, C[2]	同一个DLL组, CMD要求等长保持在500mil内所有CMD信号要求与对应时钟保持在2inch内	同一个DLL组, CMD要求等长保持在25mil内所有CMD信号要求与对应时钟保持在2inch内
Source Clocked SignalCS_N[9:0], ODT[5:0], CK E[5:0]	同一个DLL组, UDIMM CTL要求与时钟等长保持在100mil内, for RDIMM保持在240mil内	同一个DLL组, CTL要求与时钟等长保持在25mil内, for RDIMM保持在100mil内

DDR3摘自Intel Romley PDG; DDR4摘自Intel Grantley PDG

## DDR4 Crosstalk/串扰



	DDR3	DDR4
Source-Synchronous Signal	同组DQ/ECC/DOS最小间距:内层17mil(4.25H)外层19mil(7.03H)	同组DQ/ECC/DOS最小间距:内层17mil(4.25H)外层19mil(7.03H)
	组间DQ/ECC最小间距: 内层32mil,外层27mil	组间DQ/ECC最小间距:内层32mil,外层27mil
	同层通道间DQ/ECC最小间距:内层40mil,外层32mil	同层通道间DQ/ECC最小间距:内层40mil,外层32mil
	DQ/ECC在DIMM Pin处间距: 内层9mil,外层12mil	DQ/ECC在DIMM Pin处间距:内层17mil,外层19mil
Clock Signal	CLK差分线对内间距5mil	CLK差分线对内间距5mil
	CLK差分线与其他信号间距:内层12mil,外层13.5mil	CLK差分线与其他信号间距:内层12mil,外层13.5mil
Source Clocked Signal(MA[15:00], BA[2:0], RA S_N, CAS_N, WE_N, MA_PAR)/BG[1:0], ACT_N, C[2]	CMD信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCMD信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCMD信号在DIMM Pin处间距: 内层9mil,外层12mil	CMD信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCMD信号与DQ信号最小间距: 内层32mil,外层27milCMD信号在DIMM Pin处间距: 内层4.9mil,外层6.9mil
Source Clocked signalCS_N[9:0],ODT[5:0],CK E[5:0]	CTL信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCTL信号与DQ信号最小间距: 内层32mil,外层27milCTL信号在DIMM Pin处间距:内层9mil,外层12mil	CTL信号之间间距: 内层12mil,外层13.5milCTL信号与DQ信号最小间距: 内层32mil,外层27milCTL信号在DIMM Pin处间距: 内层4.9mil,外层6.9mil

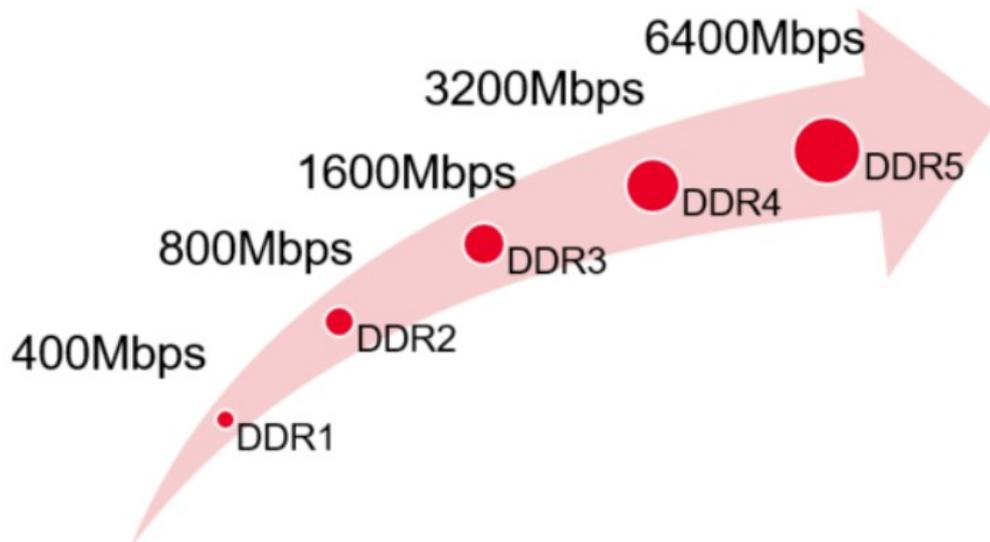
DDR3摘自Intel Romley PDG; DDR4摘自Intel Grantley PDG

## DDR5 vs DDR4

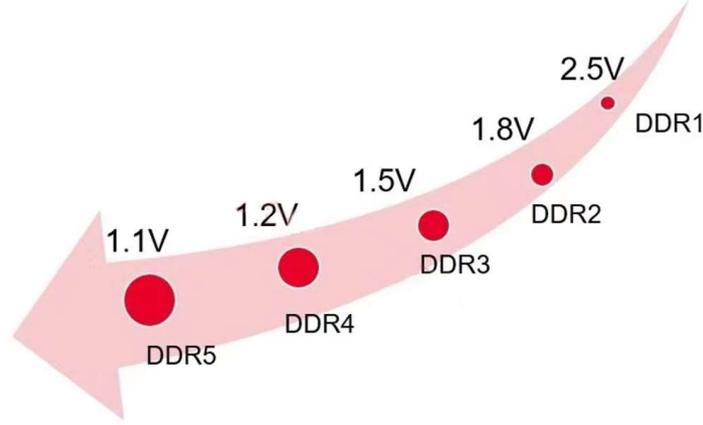
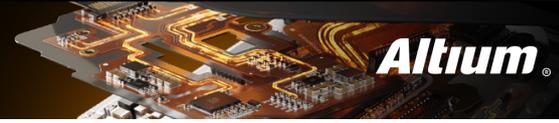


对比项目	DDR4	DDR5
速率	1.6G~3.2G	3.2G~6.4G
电压	1.2V	1.1V
均衡	无	有
ODT	DQ	DQ,CA
Prefetch	8n	16n
BL	BL8	BL16
单颗DRAM容量	16Gb	32Gb

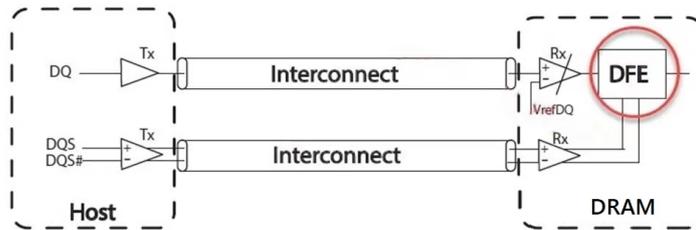
## DDR5-速率



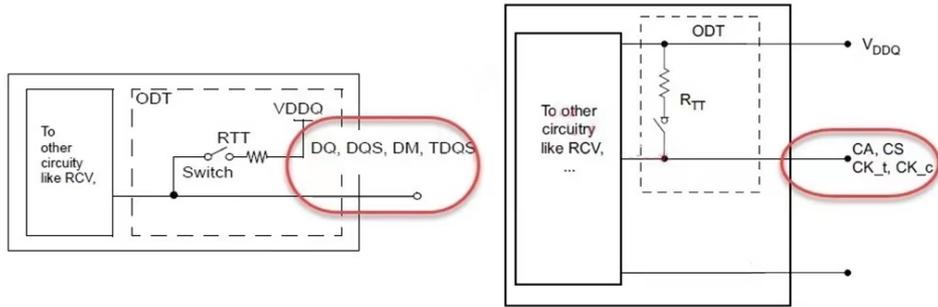
# DDR5 - 电压



# DDR5 - 均衡



# DDR5 - ODT



# DDR5 - 单颗容量



单颗DRAM的容量变得更大，DDR5的单颗容量可以达到32Gb。

## DDR5 - Burst length



Function	Register Type	Operand	Data	Notes
Burst Length	R/W	OP[1:0]	00 <sub>B</sub> : BL16 01 <sub>B</sub> : BC8 OTF 10 <sub>B</sub> : BL32 (Optional) 11 <sub>B</sub> : BL32 OTF (Optional)	
			00000 <sub>B</sub> : 22	

## DDR5 - Prefetch

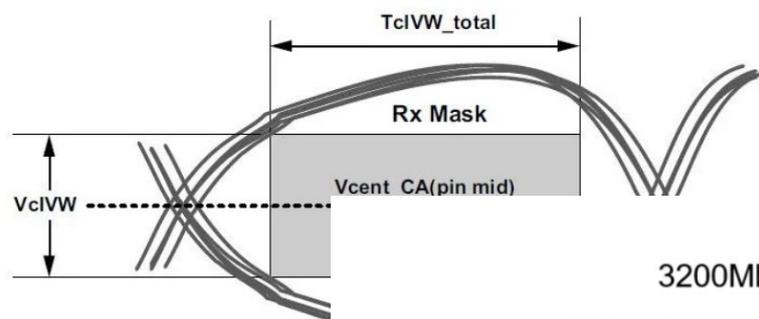
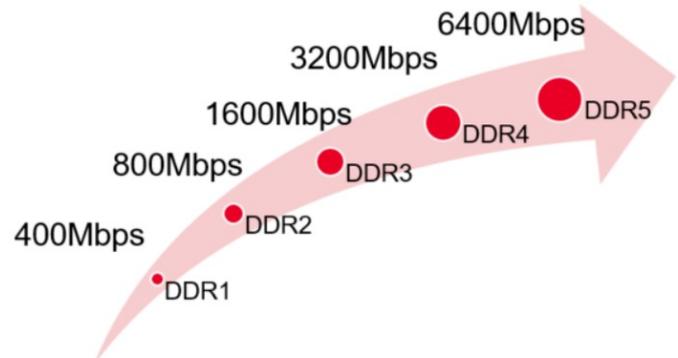
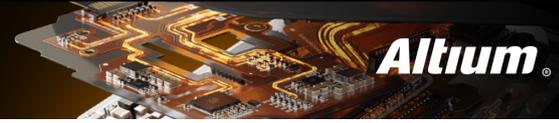


Figure 179



# DDR5



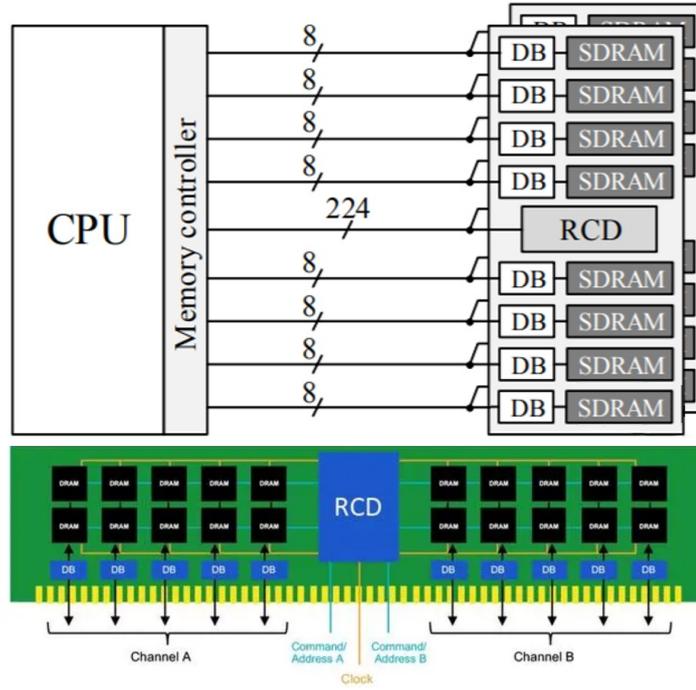
<p>DDR6?</p> <p><b>"Shannon Speed"</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Complex modulation?</li> </ul>	<p><b>Signal</b></p> <p><b>Specification</b></p> <p><b>Design</b></p>
<p><b>IQ Threshold</b></p> <p>DDR5</p> <p><b>"Hyper Speed"</b> - No visible eye</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pre/De-Emp., impulse resp</li> </ul>	
<p><b>Impulse Response Threshold</b></p> <p>DDR4</p> <p><b>"Serial Speed"</b> - Clock often embedded</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eye Diagrams/Masks</li> <li>Error rates, Jitter/Noise</li> </ul>	
<p><b>Jitter &amp; Noise Threshold</b></p> <p>DDR3</p> <p>DDR2</p> <p>DDR</p> <p><b>"High Speed"</b> - Transmission lines</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Timing</li> <li>Impedance / load curves</li> </ul>	
<p><b>Signal Integrity Threshold</b></p> <p>Static RAM</p> <p><b>"Low Speed"</b> - Auto place and route</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fanout</li> <li>Capacitance</li> </ul>	

# DDR5



Features	DDR4	DDR5	DDR5 Advantages
Speed	1600 to 3200 MT/s data rate 0.8 to 1.6 GHz clock rate	3200 to 6400 MT/s data rate 1.6 to 3.2 GHz clock rate	Higher bandwidth DDR5-4800 initial designs
IO Voltage	1.2V	1.1V	Lower power
Power Management	On motherboard	On DIMM PMIC	Better power efficiency
Channel Architecture	bit data channel(64 data + 8 ECC) 1 channel per DIMM	40-bit data channel(32 data + 8 ECC) 2 channels per DIMM	Higher memory efficiency
Burst Length	BC4, BL8	BC8, BL16	Higher memory efficiency
DRAM Size Supported	16 Gb	32 Gb	Higher capacity DIMMS

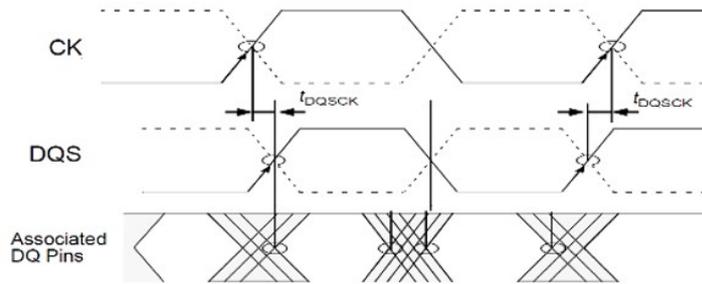
# DDR5



# DDR5特点



- 1. 采用分离式全速率时钟，对应6400M T/s频率最高达3.2GHz



DDR5 DQS控制DQ读写时序

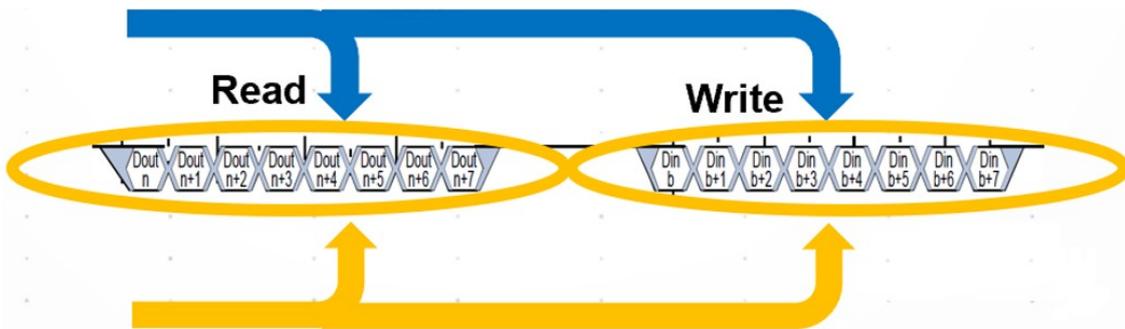
# DDR5特点



2.更宽的总线，单端信号，从RCD(Registering ClockDrivers)芯片来看采用Multi-Drop架构。

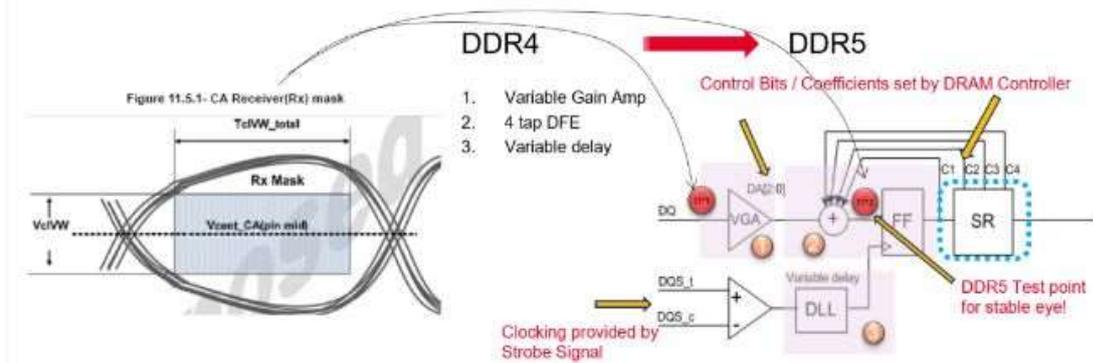
基于今天更宽的总线需求，在一块刀片服务器上可能支持1000+个并行数据通道。且由于继续采用单端信号且速率倍增，传统只在串行差分电路上考虑的损耗问题也开始困扰DDR5.因此在DDR5设计和验证测试上，不仅需要考虑传统的串扰问题还增加了对电路损耗问题的考虑

# DDR5特点



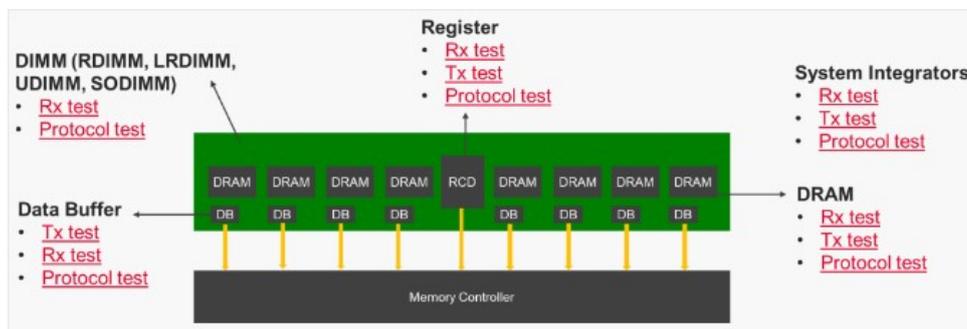
DDR5读写共享总线

# DDR5特点



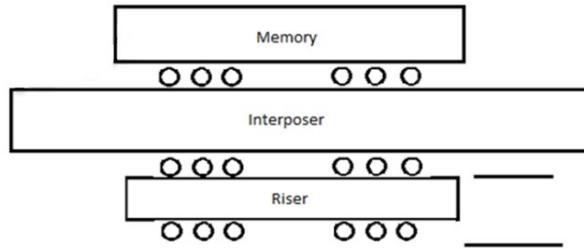
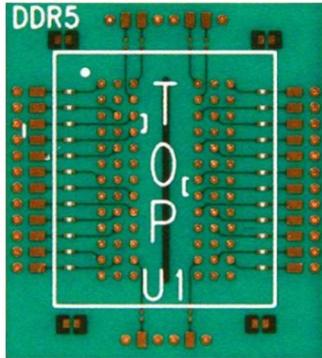
DDR5在接收端采用更多的类似高速串行总线的信号处理

# DDR5特点



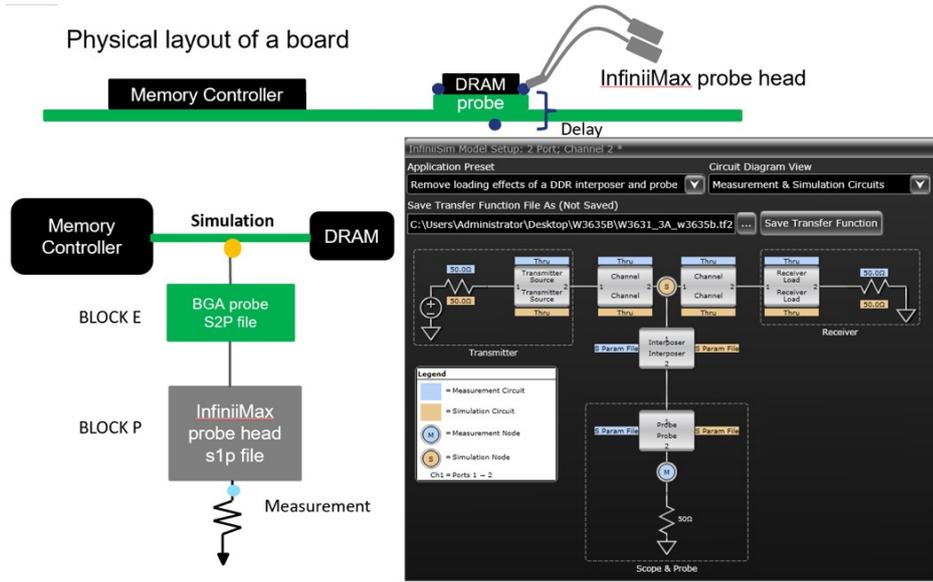
DDR5生态系统

# DDR5



DDR5 BGA Probe和板上安装示意图

# DDR5



InfiniiSim用于DDR BGA Probe去嵌示意图

Altium®

# 常用存储器的PCB设计

2023

林超文  
EDA技术总监



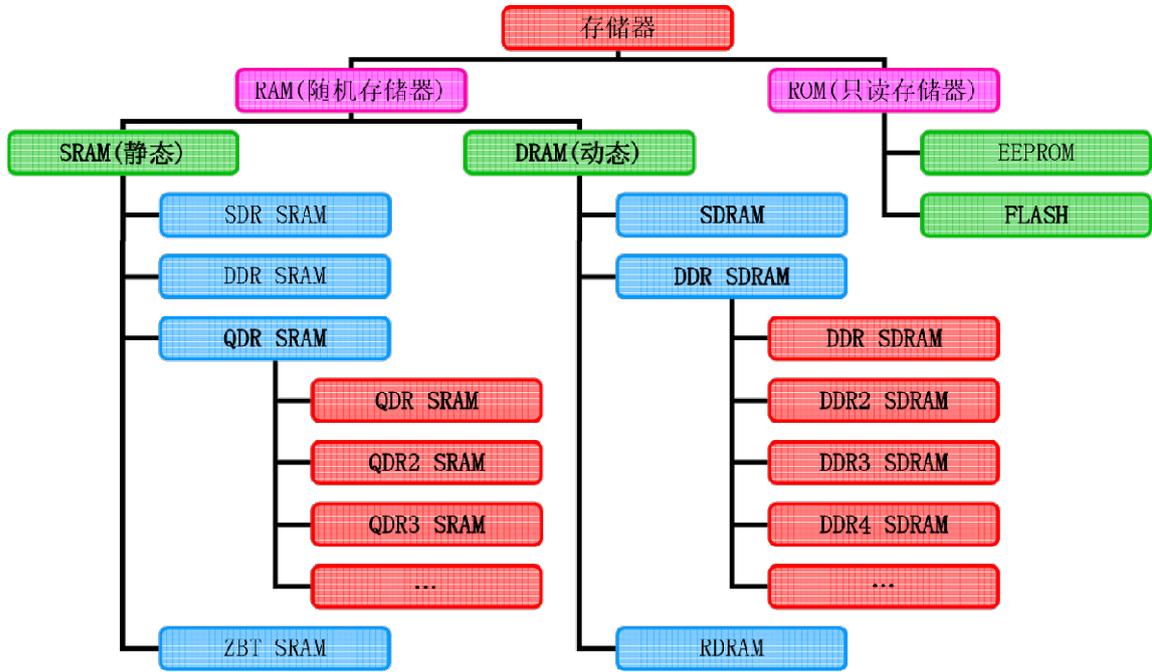
## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM

Altium®



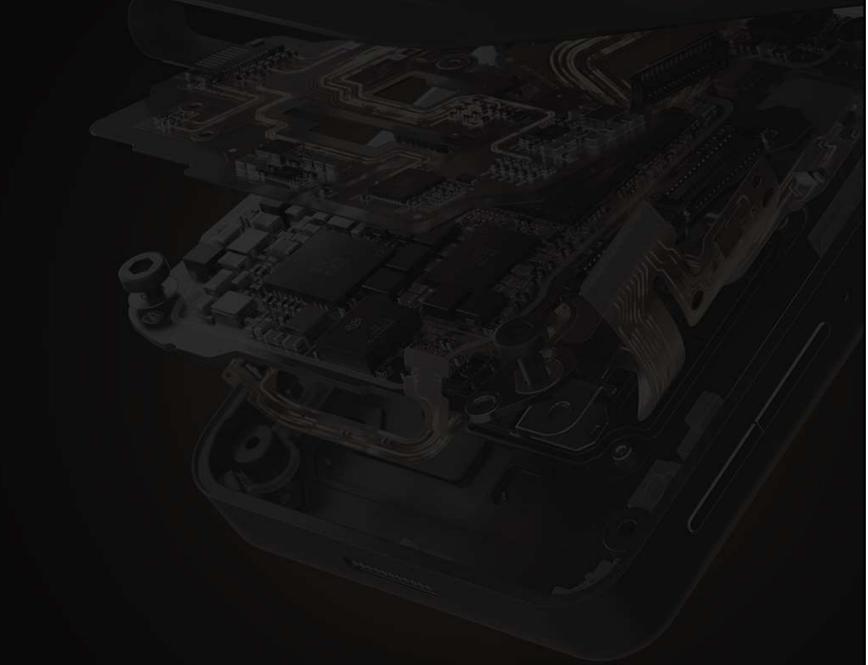
# 常用存储器分类



## Agenda



- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM

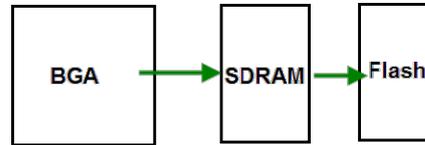


# 只读存储器ROM-FLASH



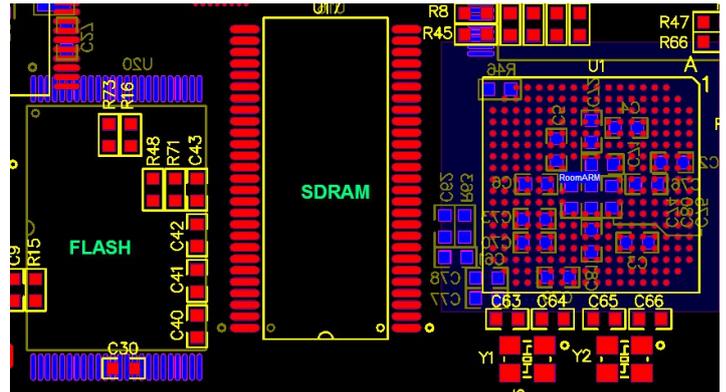
## FLASH特点

- 速率较低, 通常在50Mhz以下
- 静态存储



## 布局

- 一般采用菊花链
- Flash和SDRAM的推荐距离为500-1000mil

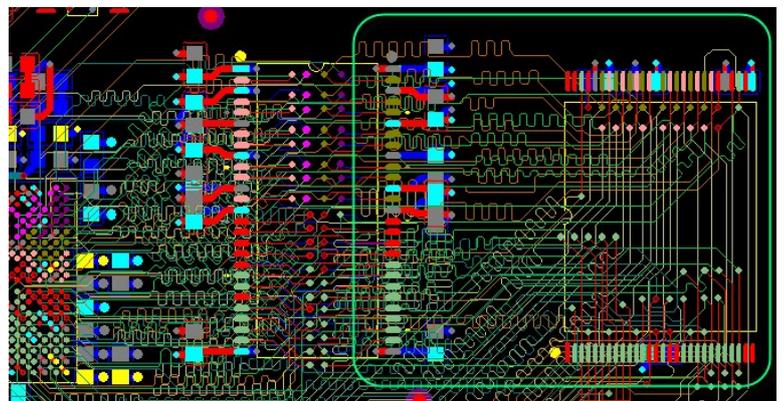
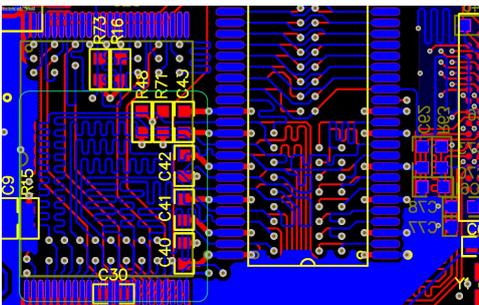


# 只读存储器ROM-FLASH



## 布线

- 特性阻抗:50欧
- 线间距3W
- 等长范围:+/-100mil



## 只读存储器ROM-EEPROM电路概述



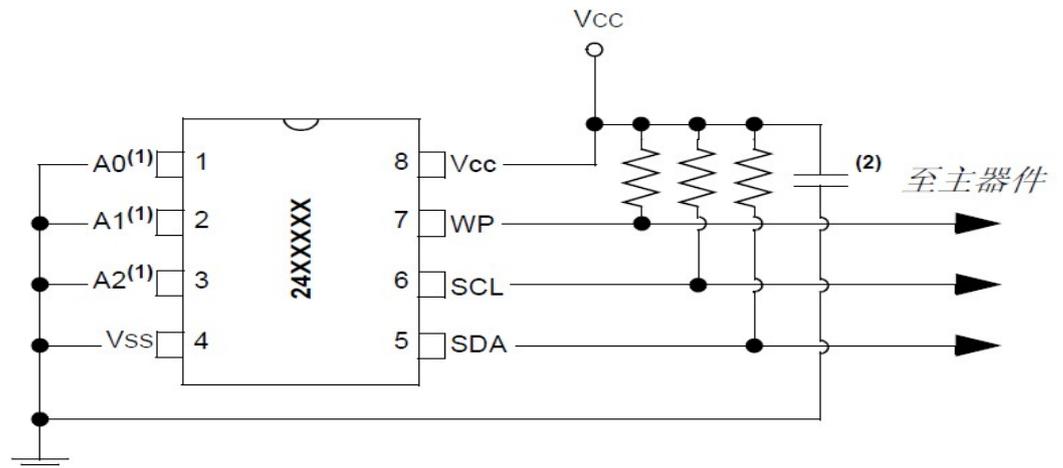
### ► EEPROM

EEPROM（电可擦可编程只读存储器）这是一种具有可擦除功能，擦除后即可进行再编程的ROM内存，一种掉电后数据不丢失的存储芯片，EEPROM可以在电脑上或专用设备上擦除已有信息，重新编程。这类芯片一般用于即插即用。

## 只读存储器ROM-EEPROM典型电路



### ► 典型连接方式



- 1.在某些器件中，引脚A0，A1，A2在内部未连接
- 2.应使用一个去耦合电容（通常为0.1UF）来帮助滤除VCC上的小纹波

## 只读存储器ROM-EEPROM典型电路

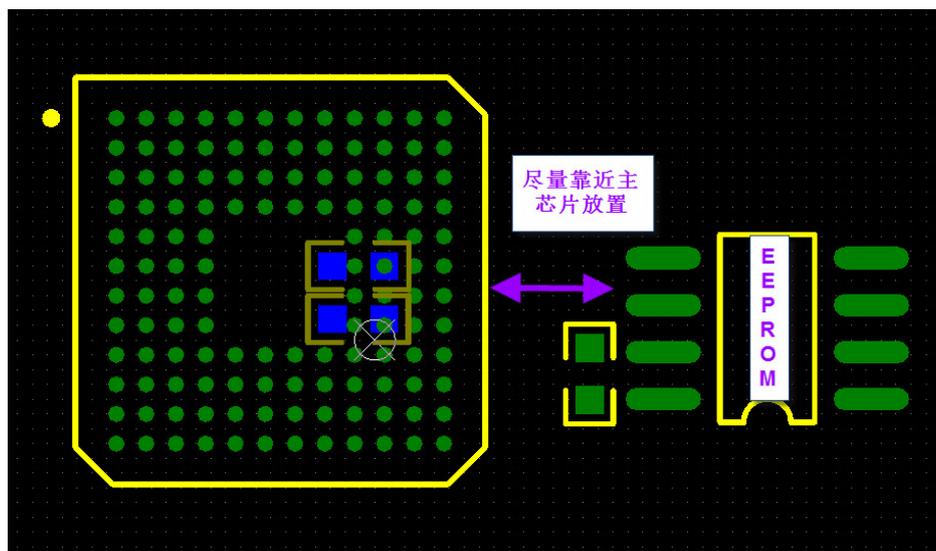


- 1.2.3: A0 A1 A2 器件地址选择
- 5: SDA 串行数据, 地址
- 6: SCL 串行时钟
- 7: WP 写保护
- 8: VCC +1.8V~6.0V工作电压
- 管脚定义

## 只读存储器ROM-EEPROM布局要求



- 靠近主芯片放置, 使距离尽量短

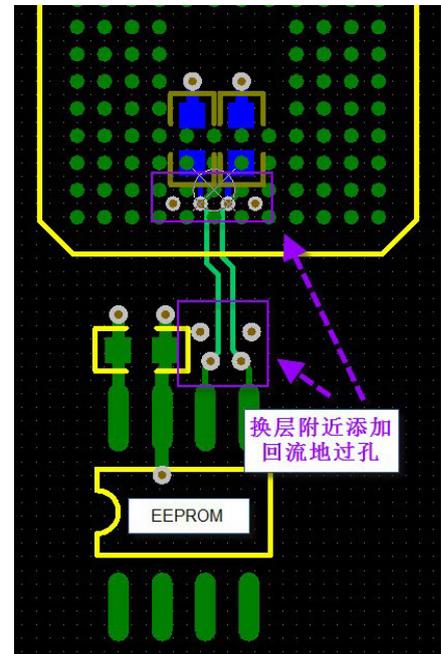


## 只读存储器ROM-EEPROM布线要求



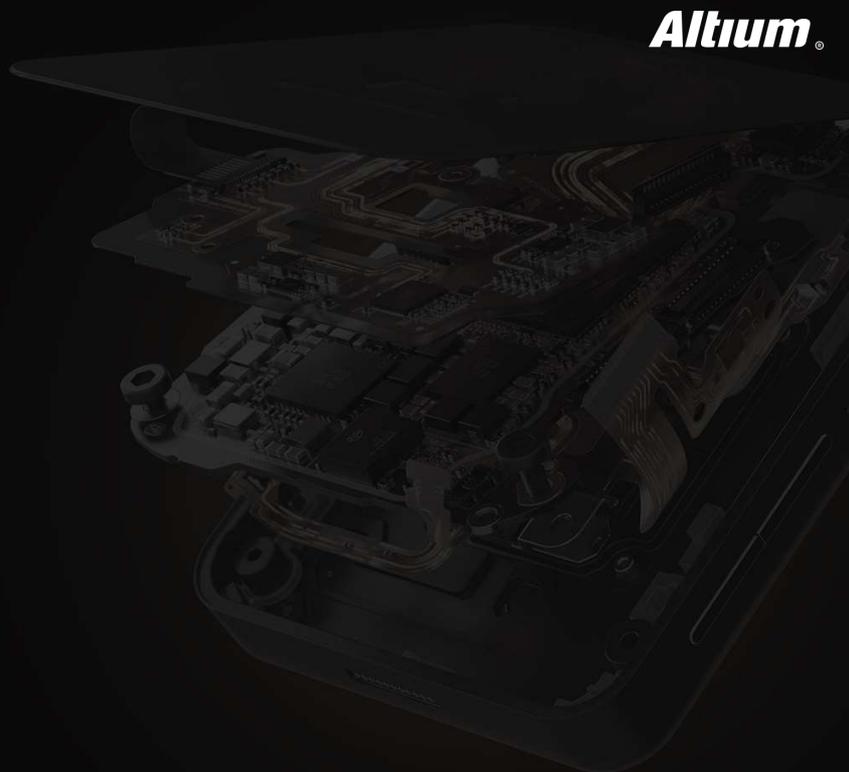
### ▶ EEPROM电路布线要求

- (1) 控制50欧姆阻抗。
- (2) 两根线并行走，与其他信号线保持3W以上的间距。
- (3) 尽量在表层走线；如需换层，需要有完整的参考平面，保持阻抗连续性；并保证过孔数量不超过3个。  
且在换层处100mil以内添加一个或者两个回流地过孔。



## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM（同步动态随机存储器）

#### ➤ 管脚定义解释

信号名。	功能描述。
CLK。	时钟。
CKE。	时钟使能。
CS#。	片选。
WE#。	读写。
RAS#。	列选。
CAS#。	行选。
DQM。	数据掩码。
BA0, BA1。	Bank 选择。
A0-A11。	地址。
DQ0-DQ15。	数据（输出）。
VDDQ。	DQ 电源。
VSSQ。	DQ 地。
VDD。	电源。
VSS。	地。

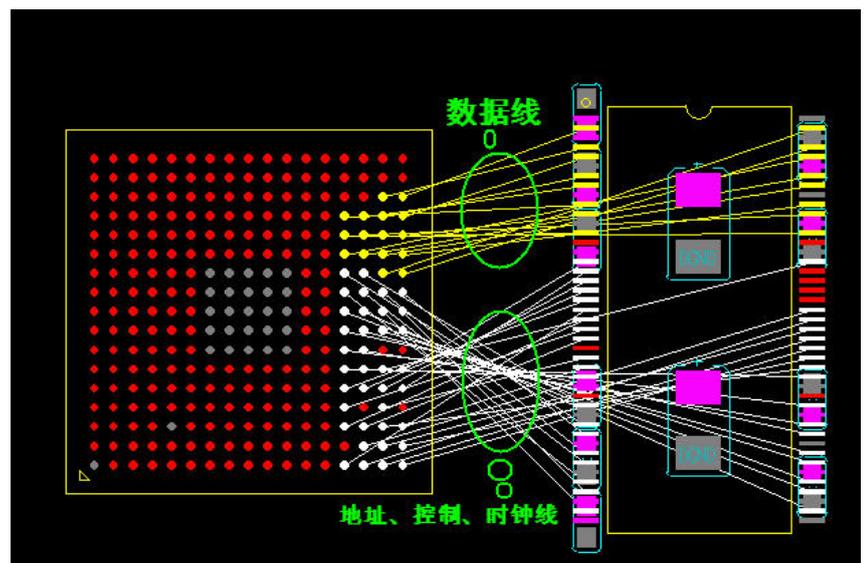
## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的布局原则：

靠近CPU放置

- SDRAM X 1片时：点对点的布局方式
- SDRAM到CPU的中心距离为：  
当中间无排阻时：900-1000mil  
当中间有排阻时：1000-1300mil



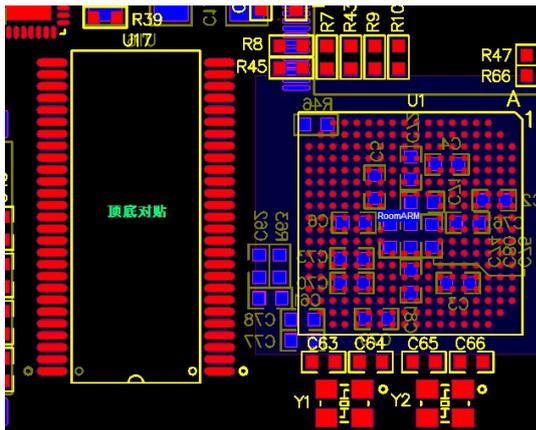
## 随机存储器-动态RAM SDRAM



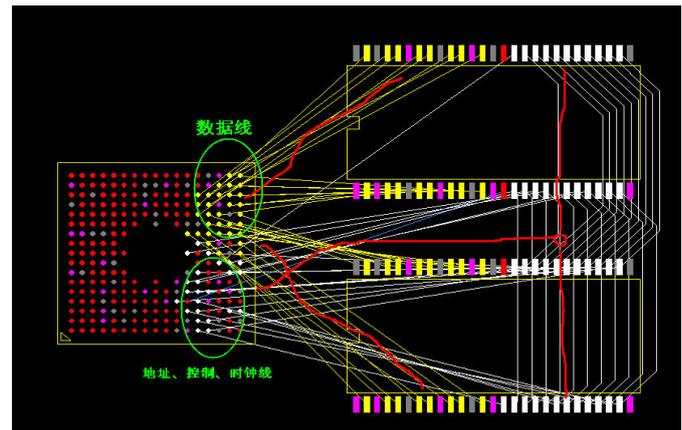
### ➤ SDRAM的布局原则:

- SDRAM X 2片时: 相对于CPU严格对称

方案一: 顶底对贴 (推荐)



方案二: 与CPU放在同一面



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的布线

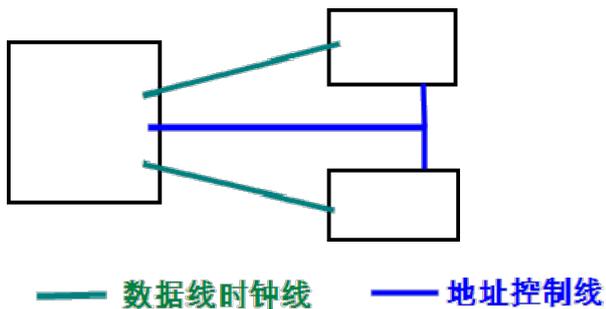
- 特性阻抗: 50欧姆
- 数据线每9根尽量走在同一层(D0~D7,LDQM;D8~D15,HDQM)
- 数据线、地址(控制)线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W
- 空间允许的情况下,应该在它们走线之间加一根地线进行隔离。地线宽度推荐为15-30mil
- 完整的参考平面
- 布线拓扑结构(默认采用远端分支)-T点(过孔)打在两片SDRAM中间

## 随机存储器-动态RAM SDRAM

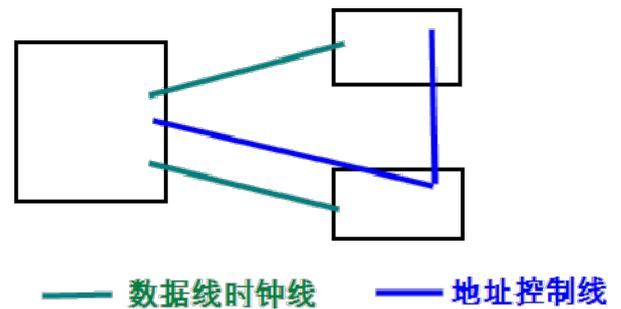


### ➤ SDRAM的拓扑结构

远端分支(星形/T形)



菊花链



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的等长布线

#### ➤ Class规则:

将所有数据线设为s dram\_data\_bus;

地址线,控制线,时钟线设为s dram\_addr\_bus

#### ➤ 等长规则:

所有信号线参照时钟线的长度等长

#### ➤ 误差范围:

数据线误差范围控制在+/- 50mil

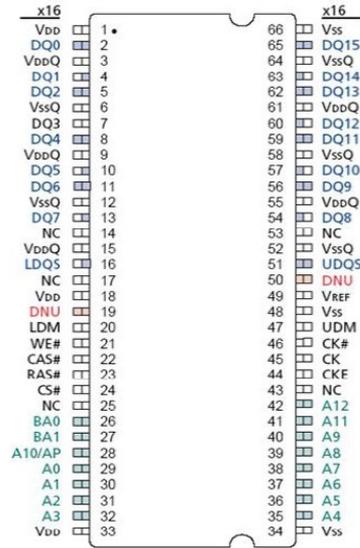
地址线误差范围控制在+/- 100mil

# 随机存储器-动态RAM DDR



## DDR的设计

### 管脚定义解释



DDR SDRAM 封装结构图

管脚数	信号名	功能描述
2	CK, CK#	全局时钟输入。
1	CKE	时钟使能信号输入。
1	CS#	片选信号输入。
3	RAS#, CAS#, WE#	命令信号输入。
2	LDM, UDM	数据 mask 信号输入。
13*	A<0..12>	地址信号输入。
2	BA0, BA1	BANK 选择信号输入。
16*	DQ<0..15>	数据信号输入/输出。
2	LDQS, UDQS	数据锁存信号输入/输出。
5*	NC	空引脚。
2	DNU	不使用引脚。
5	VDDQ	DQ 电源电压 (2.5V)。
5	VSSQ	DQ 地。
3	VDD	器件电源电压 (2.5V)。
3	VSS	器件地。
1	VREF	SSTL_2 参考电压。

DDR SDRAM 管脚功能说明

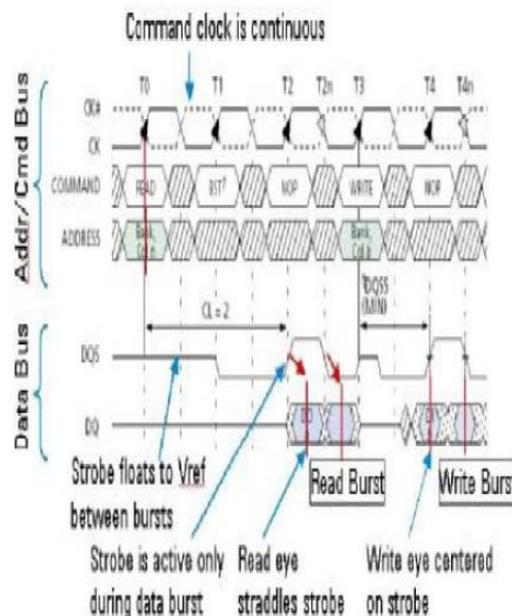
# 随机存储器-动态RAM DDR



## DDR的设计

### 工作原理:

- 一. DDR的读写操作时序如图所示。图中，命令信号与地址信号参考CK信号上升沿输入到DDR。
- 二. 读数据时DQ随着DQS并参考DQS信号沿输出，写数据时DQ随着DQS并参考DQS的信号沿输入，读写数据时DQS都是双沿有效。
- 三. 读数据时，输出的DQS由送入DDR的差分时钟CK/CK#使用DDR存储器中的一个DLL生成DQS，并使之与输出数据对齐。
- 四. 虽然DDR存储器不用差分输入时钟来发送或接收数据，但是所用DQS信号与输入时钟的频率有关。

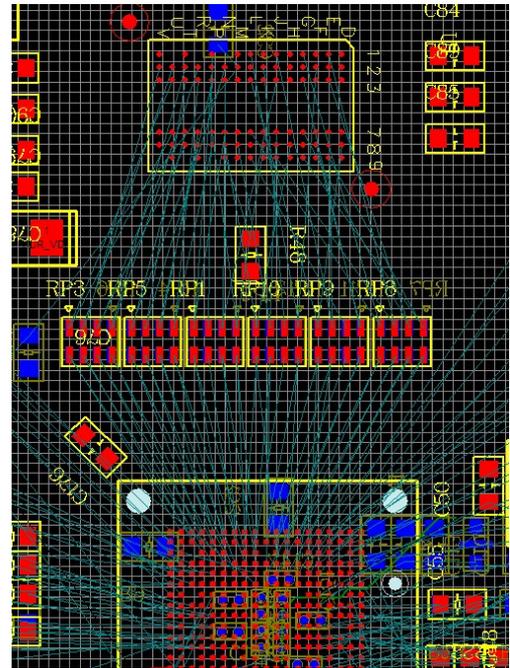


# 随机存储器-动态RAM DDR



## ➤ DDR的布局

- 布局原则是：靠近CPU摆放
- DDRx1片时，点对点的布局方式
- DDR到CPU推荐的中心距离：
  - 当中间无排阻时：900-1000mil
  - 当中间有排阻时：1000-1300mil

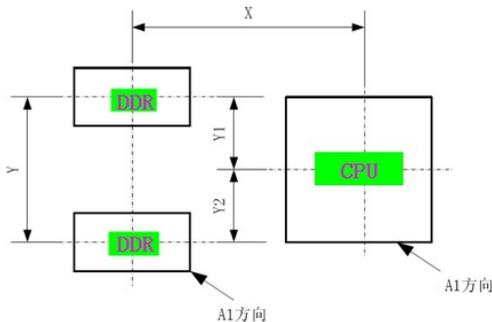


# 随机存储器-动态RAM DDR

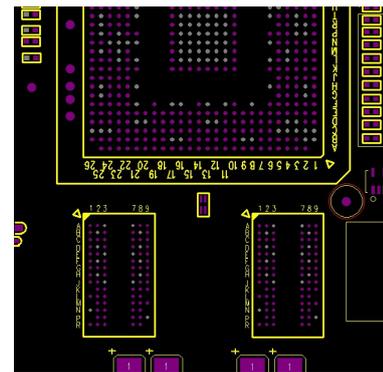


## ➤ DDR的布局

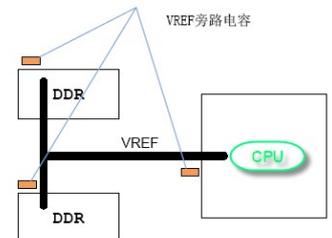
- DDRx2片时,相对于CPU严格对称



$X < 1660\text{mil}$   
 $Y < 1280\text{mil}$   
 $Y1 = Y2 < 650\text{mil}$



## ➤ VREF电容的位置



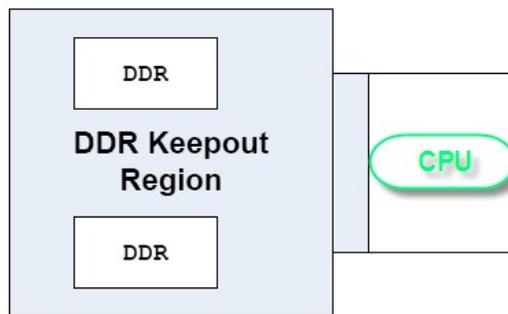
## 随机存储器-动态RAM DDR



### ➤ DDR保护区域

DDR2 保护区域 (Keepout Region): DDR2 内存组, 所有同 DDR 相关的阻容电路, 一直向 CPU 方向延伸至 CPU 的 DDR 控制器, 称为 DDR 保护区域 (DDR Keepout Region)。这个区域里需满足以下条件:

- 不得出现与 DDR 无关的信号。
- 必须提供完整的地平面 (信号线下方地平面不得中断)。
- 必须提供完整的 VCC\_1V8 电源平面 (信号线下方电源平面不得中断)。



## 随机存储器-动态RAM DDR



- 特性阻抗:单端50欧,差分100欧
- 数据线每10根尽量走在同一层 (D0~D7,LDM,LDQS)( D8~D15,UDM,UDQS )

- 信号线的间距满足3W原则

### ➤ DDR的布线

- 数据线、地址 (控制) 线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W
- 完整的参考平面
- VREF电源走线推荐  $\geq 20 \sim 30\text{mil}$
- 误差范围:  
差分对误差严格控制在5mil  
数据线误差范围控制在  $\pm 25\text{mil}$   
地址线误差范围控制在  $\pm 100\text{mil}$

## 随机存储器-动态RAM DDR



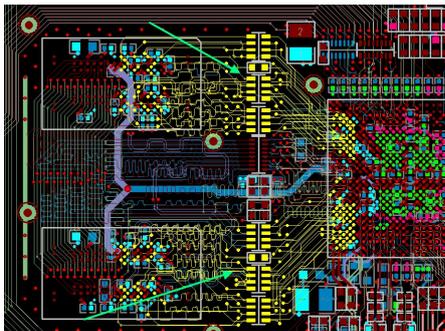
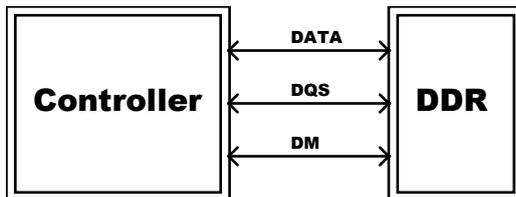
- ▶ Class规则  
将数据类设为2组Class(D0~D7,LDM,LDQS)(D8~D15,UDM,UDQS);  
地址线,控制线,时钟线设为1组Class
- ▶ **DDRx1片的等长布线**
  - ▶ 等长规则:  
所有信号线参照时钟线的长度等长
  - ▶ 误差范围:  
数据线误差范围控制在+/- 25mil  
地址线误差范围控制在+/- 100mil

## 随机存储器-动态RAM DDR

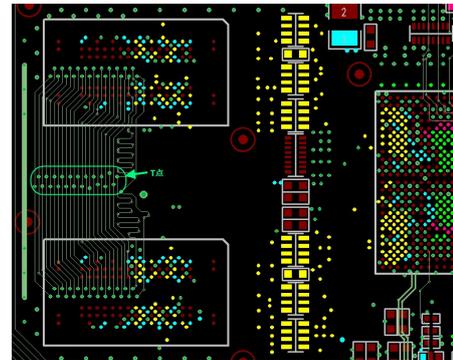
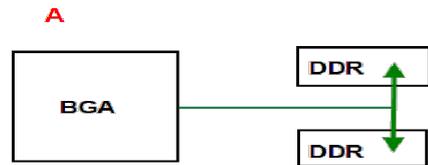


### ▶ **DDRx2片的等长布线**

▶ 数据类拓扑结构:点到点



▶ 地址类拓扑结构:星形

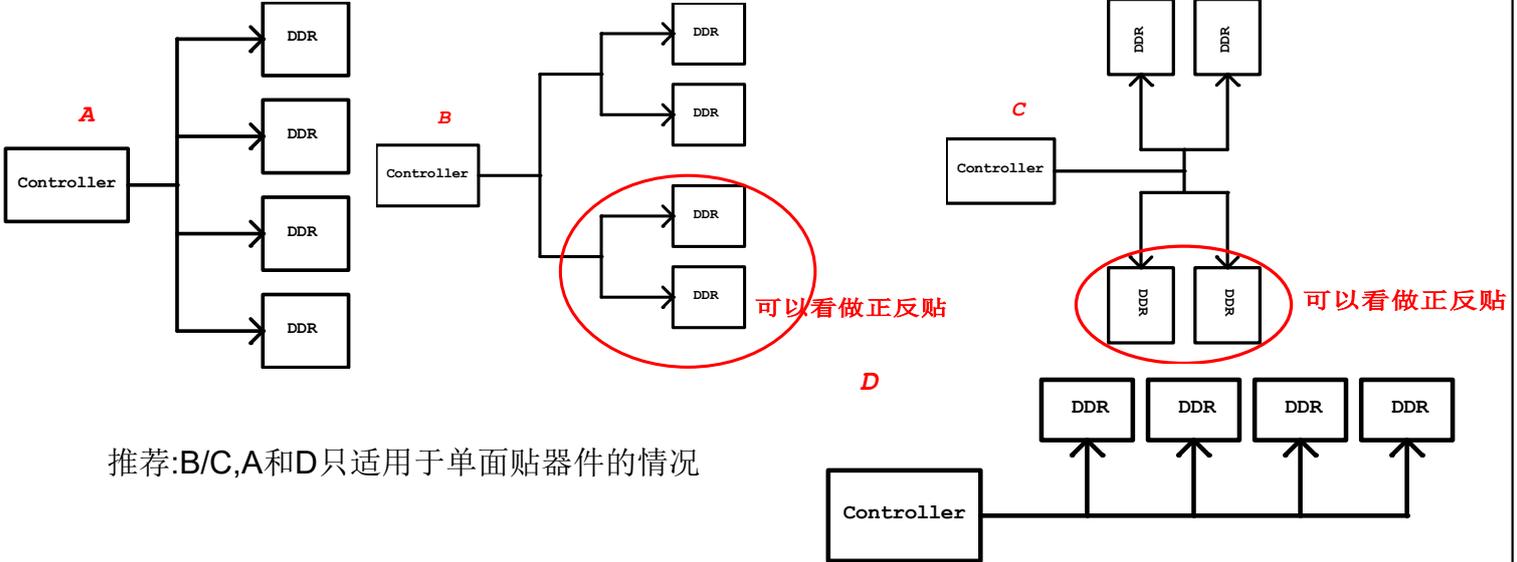


# 随机存储器-动态RAM DDR



## DDRx4片的等长布线

仍然可以套用两片时的拓扑，只是将树或者星做大



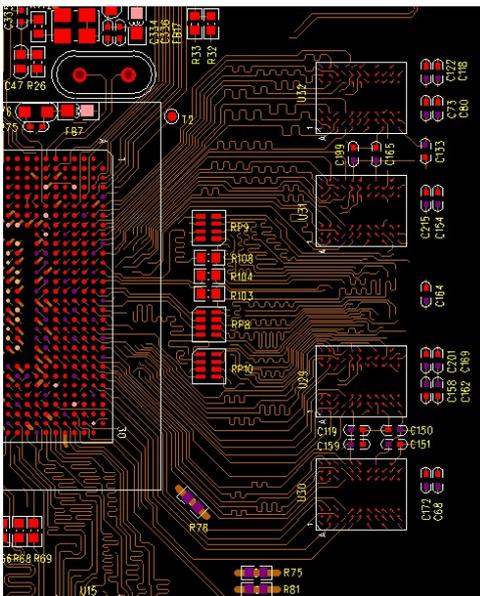
推荐:B/C,A和D只适用于单面贴器件的情况

# 随机存储器-动态RAM DDR

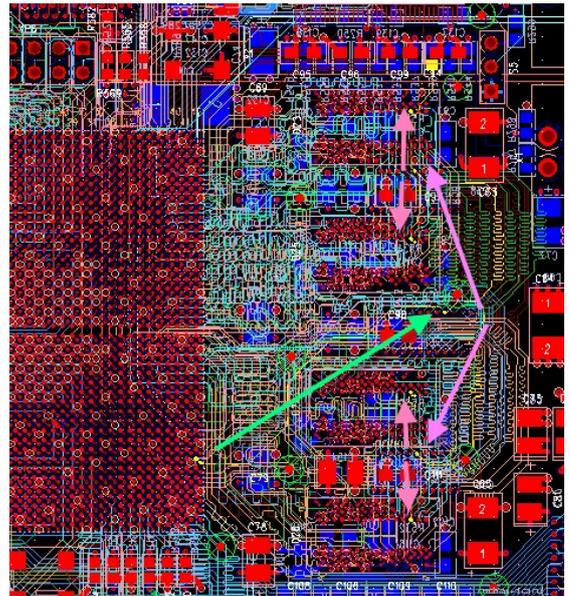


## DDRx4片的等长布线

A型



B型

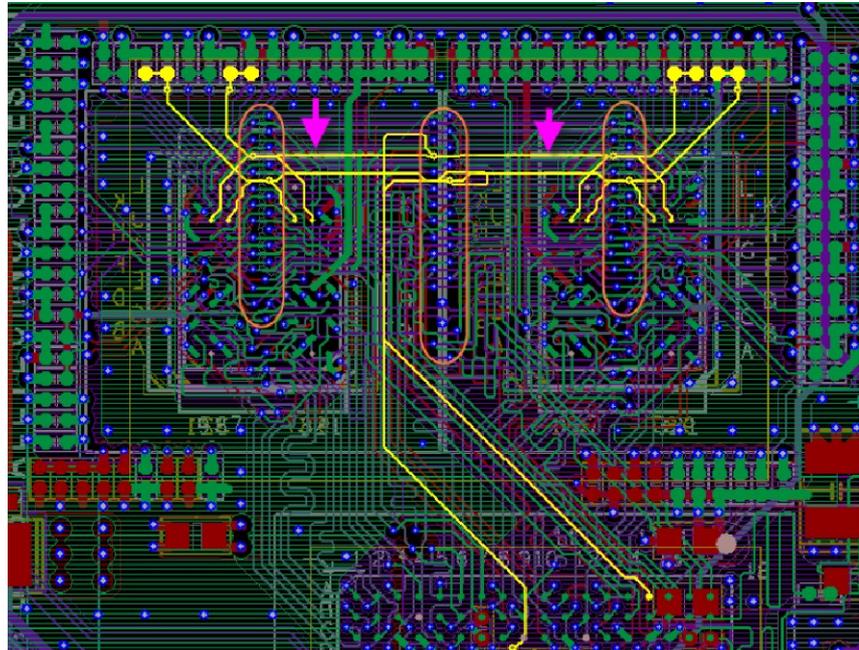


# 随机存储器-动态RAM DDR



➤ DDRx4片的等长布线

C型

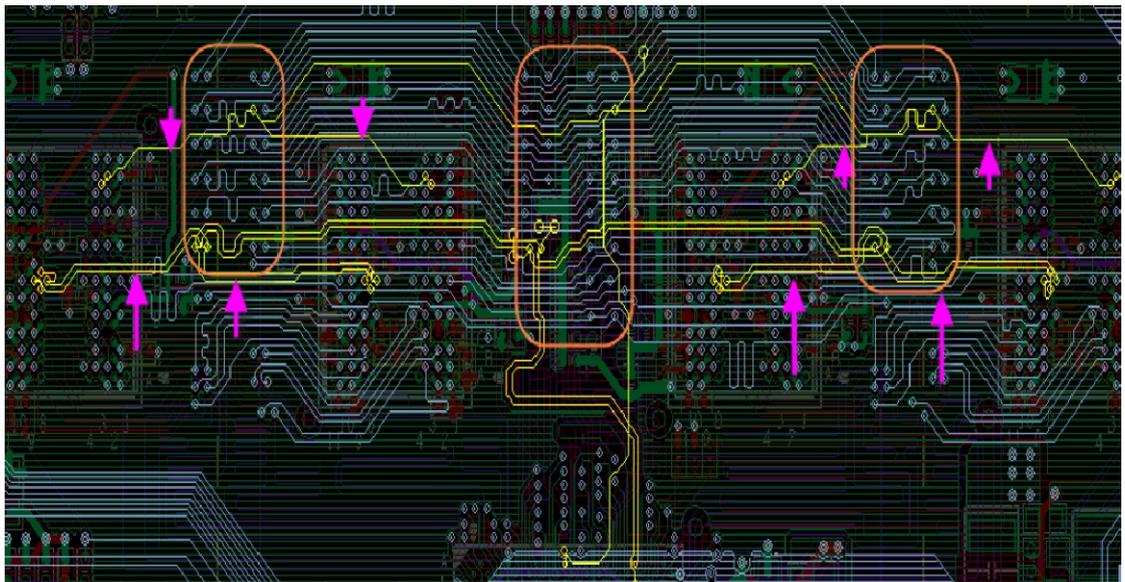


# 随机存储器-动态RAM DDR

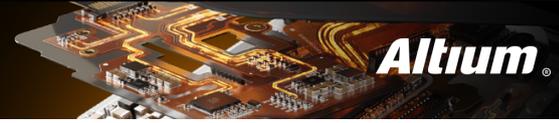


➤ DDRx4片的等长布线

D型



# 随机存储器-动态RAM DDR



## ➤DDR的时序设计

➤DDR(采用树形或者星型拓扑)

DQSL/DQ SH	严格等长设计，误差控制在 ± 25mil		尽量控制等长
DQ0~DQ16			
DQML/DQ MH			
CLK/CLK#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
A0~A11	等长设计，控制在 ± 100mil		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

# 随机存储器-动态RAM DDR2



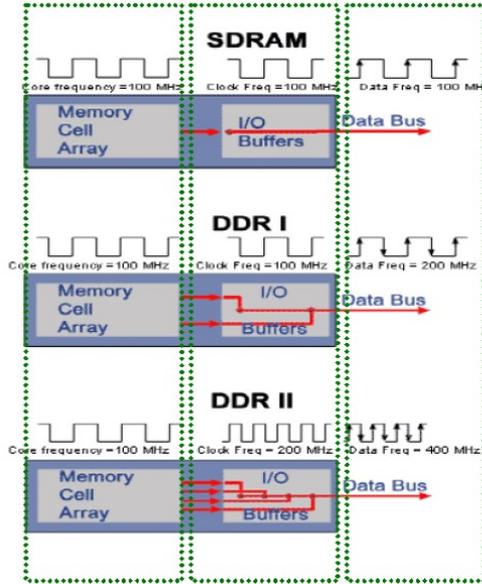
## ➤DDR VS DDR2

Memory Type	DDR	DDR2
Core Voltage(VDD)	2.5V	1.8V
I/O Voltage (VDDQ)	SSTL_2(2.5V)	SSTL_1.8(1.8)
Data Rate	200/266/333/400Mbps	400/533/667/800Mbps
Bus Frequency	100/133/166/200MHz	200/266/333/400MHz
Core Frequency	100/133/166/200MHz	100/133/166/200MHz
Pre-fetch	2-bit	4-bit
Burst Length	2/4/8	4/8
Data Strobe	Single DQS	Differential DQS, /DQS
Write Latency	1 clock	(Read Latency-1) clock
CAS Latency	1.5, 2, 2.5	3, 4, 5
Package	x4/x8/x16: 66-pin TSOP(II) x4/x8/x16: 60-ball FBGA	x4/x8: 60 ball FBGA x16: 84 ball FBGA
New Features		OCD ODT Posted CAS

# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR VS DDR2



Item	DDR2 SDRAM	DDR SDRAM	SDR SDRAM
Prefetch	4 bit	2 bit	1 bit
Internal bus operating frequency	100MHz	100MHz	100MHz
External clock frequency	200MHz	100MHz	100MHz
Data bus speed	400Mbps	200Mbps	100Mbps

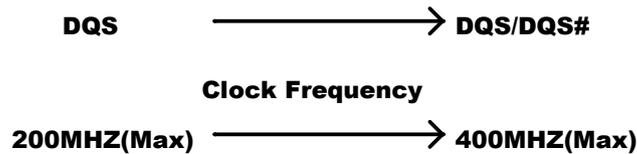
# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的设计

### ➤ DDR新特性:

DDR2可以看做DDR的升级，由于DDR的内部设计使得I/O口的速率最高只能达到200Mhz,而DDR2最高可以提高到400Mhz，也就是DDR2比DDR提高了一倍的速率。在信号管脚上变化的主要是将单端的DQS信号变成了差分的DQS和DQS#。

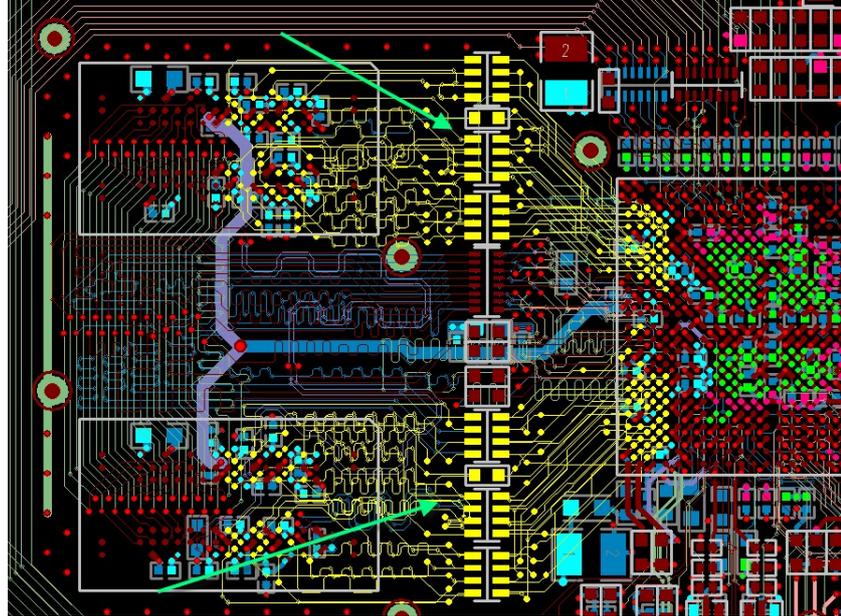


# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的布局

➤ 布局思路同DDR

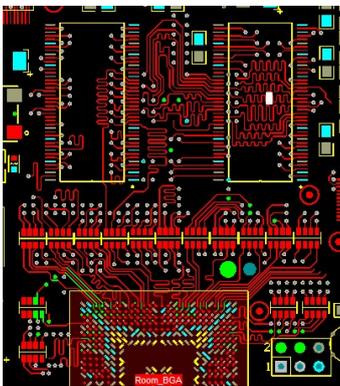


# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2数据匹配电阻的布局

➤ 数据匹配电阻应靠近DDR. 布线也会容易些。  
(数据线是双向传输的，有的核心不一定有ODT功能. 如有ODT功能匹配电阻放那边都没有问题, 当核心没有ODT功能匹配电阻靠CPU就有问题, 所以综合考虑匹配电阻应靠DDR放置)



左图SDRAM的数据线排阻应近SDRAM直接接上可以减少过孔.

Figure 8-11 shows the topology and routing for the DQS and DQ net classes; the routes are point to point. Skew matching across bytes is not needed nor recommended.

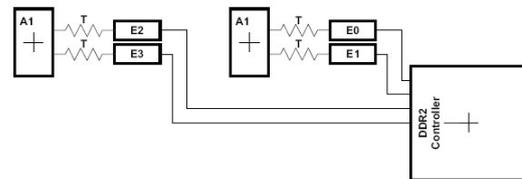


Figure 8-11. DQS and DQ Routing and Topology

Table 8-12. DQS and DQ Routing Specification

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	Center-to-center DQS-DQSn spacing in E0/E1/E2/E3			2w	
2	DQS-DQSn skew in E0/E1/E2/E3			25	Mils
3	Center-to-center DQS to other DDR2 trace spacing <sup>(1)</sup>	4w			
4	DQS/DQ nominal trace length <sup>(2)(3)(4)</sup>	DQLM-50	DQLM	DQLM+50	Mils
5	DQ-to-DQS skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils
6	DQ-to-DQ skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils
7	DQ-to-DQ/DQS via count mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			1	Vias
8	Center-to-center DQ to other DDR2 trace spacing <sup>(1)(5)</sup>	4w			
9	Center-to-center DQ to other DQ trace spacing <sup>(1)(6)(7)</sup>	3w			
10	DQ/DQS E skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils

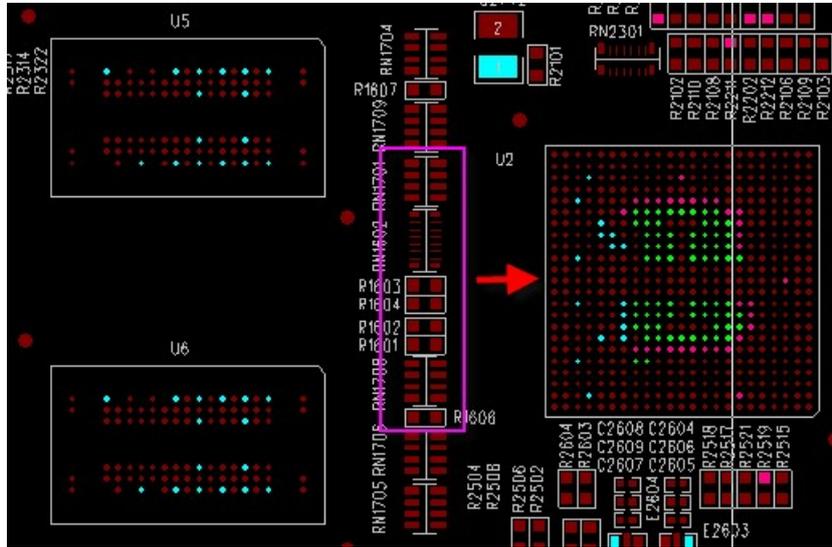
(1) Center-to-center spacing is allowed to fall to minimum (w) for up to 500 mils of routed length to accommodate BGA escape and routing congestion.  
 (2) A 18-bit DDR memory system has two sets of data net classes; one for data byte 0, and one for data byte 1, each with an associated DQS (2 DQs) per DDR EMIF used.  
 (3) A 32-bit DDR memory system has four sets of data net classes; one each for data bytes 0 through 3, and each associated with a DQS (4 DQs) per DDR EMIF used.  
 (4) There is no need, and it is not recommended, to skew match across data bytes; i.e., from DQS0 and data byte 0 to DQS1 and data byte 1.  
 (5) DQs from other DQS domains are considered other DDR2 trace.  
 (6) DQs from other data bytes are considered other DDR2 trace.  
 (7) DQLM is the longest Manhattan distance of each of the DQS and DQ net classes.

## 随机存储器-动态RAM DDR2



### ➤ DDR2地址线匹配电阻的布局

- DDR2地址线匹配电阻位置应靠近核芯



## 随机存储器-动态RAM DDR2



### ➤ DDR2的布线

- 特性阻抗:单端50欧,差分100欧

- 数据线每11根尽量走在同一层

(D0~D7, DQM0,DQS0\_N,DQS0\_P)

(D8~D15, DQM1,DQS1\_N,DQS1\_P)

(D16~D23,DQM2,DQS2\_N,DQS2\_P)

(D24~D31,DQM3,DQS3\_N,DQS3\_P)

- 信号线的间距满足3W原则

- 数据线、地址（控制）线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W

- 完整的参考平面

- VREF电源走线推荐 $\geq 20\sim 30\text{mil}$

DDR2x1片

DDR2x2片

❖ 误差范围:

差分对误差严格控制在5mil

数据线误差范围控制在 $\pm 15\text{mil}$

地址线误差范围控制在 $\pm 100\text{mil}$

## 随机存储器-动态RAM DDR2



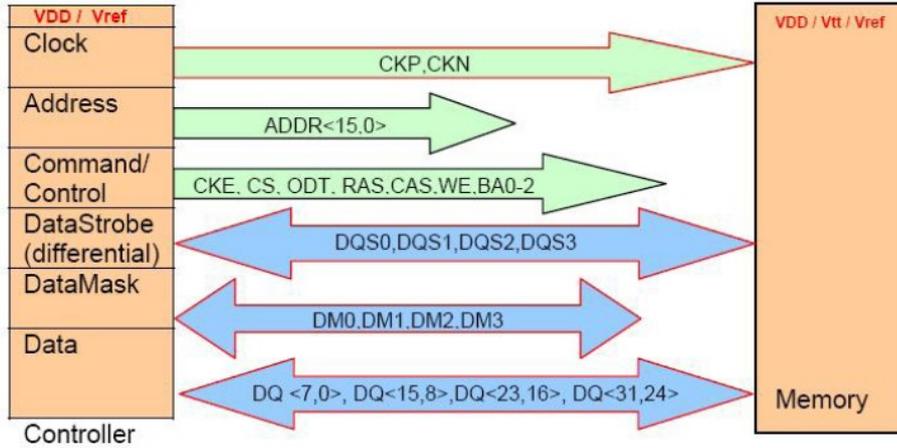
### ➤ DDR2的布线

- DQGATE组分为低16位和高16位

$$DQGATE\_L = DDRCLKOUTP + (DDRQDS0P + DDRQDS1P) / 2$$

- 布线拓扑：布线长度误差控制在100mil

$$DQGATE\_H = DDRCLKOUTP + (DDRQDS2P + DDRQDS3P) / 2$$



## 随机存储器-动态RAM DDR2



### DDR2 (采用树形或者星型拓扑)

### ➤ DDR2芯片时序设计

DQSH/DQSH#	严格差分等长设计	严格等长设计, 控制在 ± 15mil	尽量控制等长
DQSL/DQSL#	严格差分等长设计		
DQ0~DQ16	严格等长设计, 控制在 ± 15mil	尽量控制等长	
DQML/DQML#			
CLK/CLK#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
A0~A11	等长设计, 控制在 ± 100mil		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

## 随机存储器-动态RAM DDR3



### ➤ DDR3的设计

#### ➤ DDR3的新特性

DDR3和DDR2在信号定义上基本上是一样的，信号定义上变化很小，大家可以看到有些芯片上会出现两根新的信号TDQS/TDQS#，它只是在8位RAM上会使用到，4位和16位的RAM不会用到他们，所以我们这里不特别阐述，我们可以简单的把它看做单向传输的DQS信号(RAM->Controller)，将其和DQS/DQS#,DATA, DM归为一组即可。

## 随机存储器-动态RAM DDR3



### ➤ DDR3与DDR2的比较

Technology	DDR2	DDR3
Max Clock Freq. (MHz)/Data rate(Mbps)	533/1066	800/1600
Power Requirement		
VDD (Volts)	1.8 +/- 0.1	1.5 +/- 0.075
Vtt (Volts)	0.9 +/- 0.04	0.75 +/- TBD
Vref (Volts)	0.9 +/- 0.018	0.75 +/- 0.015
Input Thresholds		
Vih/Vil (Volts)	0.9 +/- 0.2	0.75 +/- 0.175
Delay Matching Requirement		
Match ADDR/CMD/CNTRL to Clock tightly	Yes	Yes
Match DQ<7,0>, DM0 to DQS0 tightly	Yes	Yes
Match DQ<15,8>, DM1 to DQS1 tightly	Yes	Yes
Match DQ<22,16>, DM2 to DQS2 tightly	Yes	Yes
Match DQ<31,23>, DM3 to DQS3 tightly	Yes	Yes
Match DQS0-3 to Clock loosely	Yes	Not required

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ► DDR3与DDR、DDR2的比较

	DDR	DDR2	DDR3
时钟频率	100/133/166/200MHz	200/266/333/400MHz	400/533/667/800MHz
数据传输速率	200/266/333/400Mbps	400/533/667/800Mbps	800/1066/1333/1600Mbps
输入/输出位宽	x4/x8/x16/x32	x4/x8/x16	x4/x8/x16
预取宽度	2位	4位	8位
突发长度	2, 4, 8	4, 8	8
数据选通 (DQS)	单线	单线/差分	差分
电源电压	2.5V ± 0.2V	1.8V ± 0.1V	1.5V ± 0.075V
接口类型	SSTL_25	SSTL_18	SSTL_15
CAS延迟 (CL)	2, 2.5, 3时钟频率	3, 4, 5时钟频率	5, 6, 7, 8, 9, 10时钟频率
片内终结器 (ODT)	不支持	支持	支持
封装类型	66pin TSOP2 60pin BGA	60pin BGA (x4, x8) 84pin BGA (x16)	78pin BGA (x4, x8) 96pin BGA (x16)
Write Leveling	不支持	不支持	支持

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ► DDR3的等长

### ► 地址线长度要求

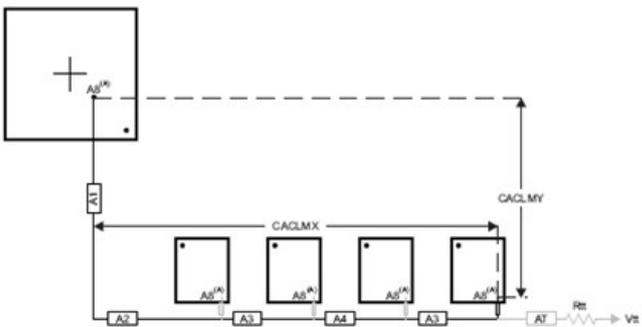


Table 8-24. CK and ADDR\_CTRL Routing Specification<sup>(1)(2)</sup>

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	A1+A2 length			2500	mil
2	A1+A2 skew			25	mil
3	A3 length			600	mil
4	A3 skew <sup>(3)</sup>			25	mil
5	A3 skew <sup>(4)</sup>			125	mil
6	A4 length			600	mil
7	A4 skew			25	mil
8	A5 length			100	mil
9	A5 skew			100	mil
10	AS+AS- length			70	mil
11	AS+AS- skew			5	mil
12	AT length <sup>(5)</sup>			600	mil
13	AT skew <sup>(6)</sup>			100	mil
14	AT skew <sup>(7)</sup>			5	mil
15	CK/ADDR_CTRL nominal trace length <sup>(8)</sup>	CACLM-50	CACLM	CACLM+50	mil

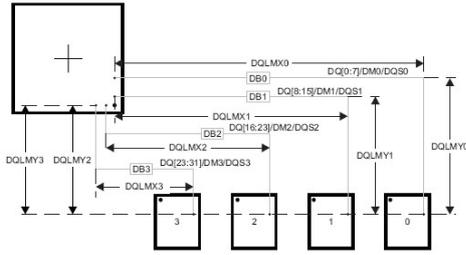
# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3的等长

### ➤ 数据线长度要求

DDR3数据线以  
DQS为基准25mil



DB0 - DB3 represent data bytes 0 - 3.  
There are four DQLMs, one for each byte (32-bit interface). Each DQLM is the longest Manhattan distance of the byte; therefore:  
 $DQLM0 = DQLMX0 + DQLMY0$   
 $DQLM1 = DQLMX1 + DQLMY1$   
 $DQLM2 = DQLMX2 + DQLMY2$   
 $DQLM3 = DQLMX3 + DQLMY3$

Table 8-25. Data Routing Specification<sup>(1)</sup>

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	DB0 nominal length <sup>(2)(3)</sup>			DQLM0	mil
2	DB1 nominal length <sup>(2)(4)</sup>			DQLM1	mil
3	DB2 nominal length <sup>(2)(5)</sup>			DQLM2	mil
4	DB3 nominal length <sup>(2)(6)</sup>			DQLM3	mil
5	DBn skew <sup>(7)</sup>			25	mil
6	DQSn+ to DQSn- skew			5	mil
7	DQSn to DBn skew <sup>(7)(8)</sup>			25	mil
8	Center-to-center DBn to other DDR3 trace spacing <sup>(9)(10)</sup>		4w		
9	Center-to-center DBn to other DBn trace spacing <sup>(9)(11)</sup>		3w		
10	DQSn center-to-center spacing <sup>(12)</sup>				
11	DQSn center-to-center spacing to other net <sup>(9)</sup>		4w		

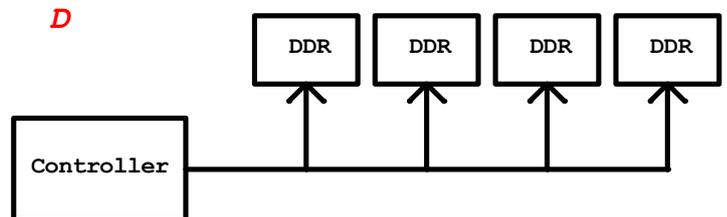
(1) External termination disallowed. Data termination should use built-in ODT functionality.  
 (2) DQLMn is the longest Manhattan distance of a byte. For definition, see Section 8.3.2.16.2 and Figure 8-39.  
 (3) DQLM0 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 0.  
 (4) DQLM1 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 1.  
 (5) DQLM2 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 2.  
 (6) DQLM3 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 3.  
 (7) Length matching is only done within a byte. Length matching across bytes is neither required nor recommended.  
 (8) Each DQS pair is length matched to its associated byte.  
 (9) Center-to-center spacing is allowed to fall to minimum for up to 1250 mils of routed length.  
 (10) Other DDR3 trace spacing means other DDR3 net classes not within the byte.  
 (11) This applies to spacing within the net classes of a byte.  
 (12) DQS pair spacing is set to ensure proper differential impedance.]

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3的拓扑结构

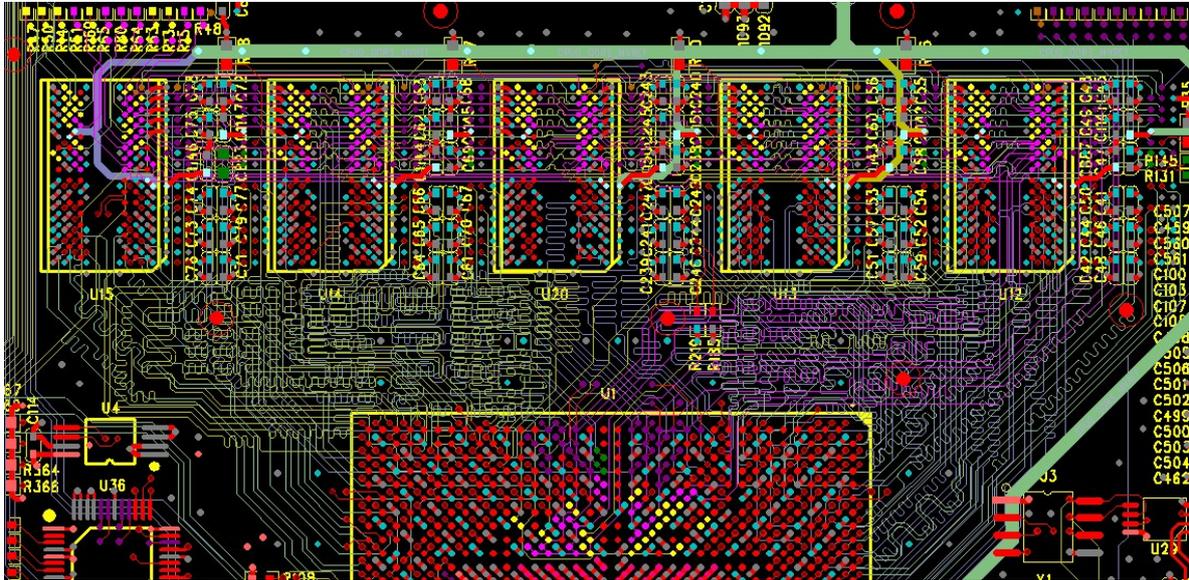
DDR3的地址拓扑和DDR2, DDR一样, 只是由于其速率更高(最高可达到1.6Gbps), 所以除了时序, 信号完整性也成了我们需要关注的要点, 前文提到的在多片DDR设计时采用的4种拓扑, 我们在进行DDR3设计, 尤其是当速率跑到1.6Gbps时, 通过仿真我们发现4种拓扑中只有D, 即菊花链拓扑满足信号完整性要求, 但是这里并不是说其他3种拓扑不适用, 只是在满足时序要求的情况下, D型拓扑能最好的达到信号完整性的要求。



# 随机存储器-动态RAM DDR3



## DDR3的拓扑结构

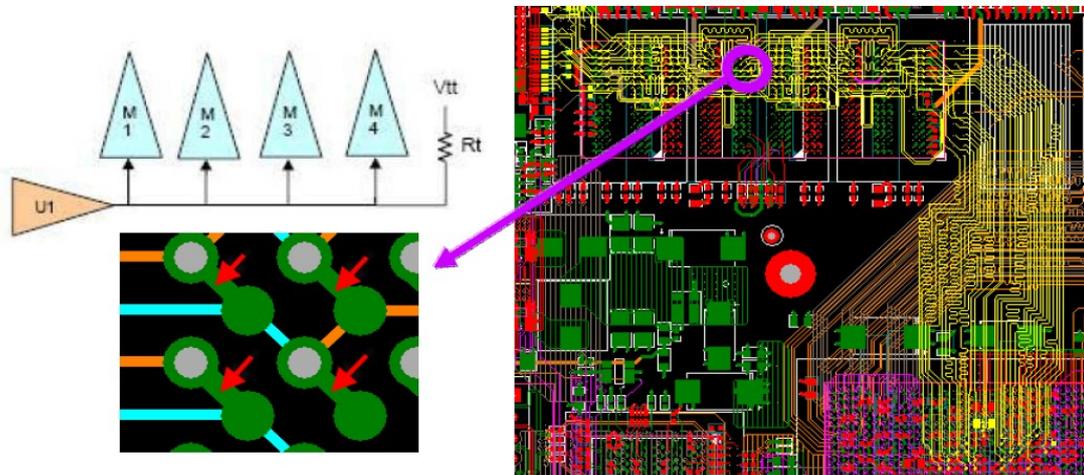


# 随机存储器-动态RAM DDR3



## DDR3的布局布线实例

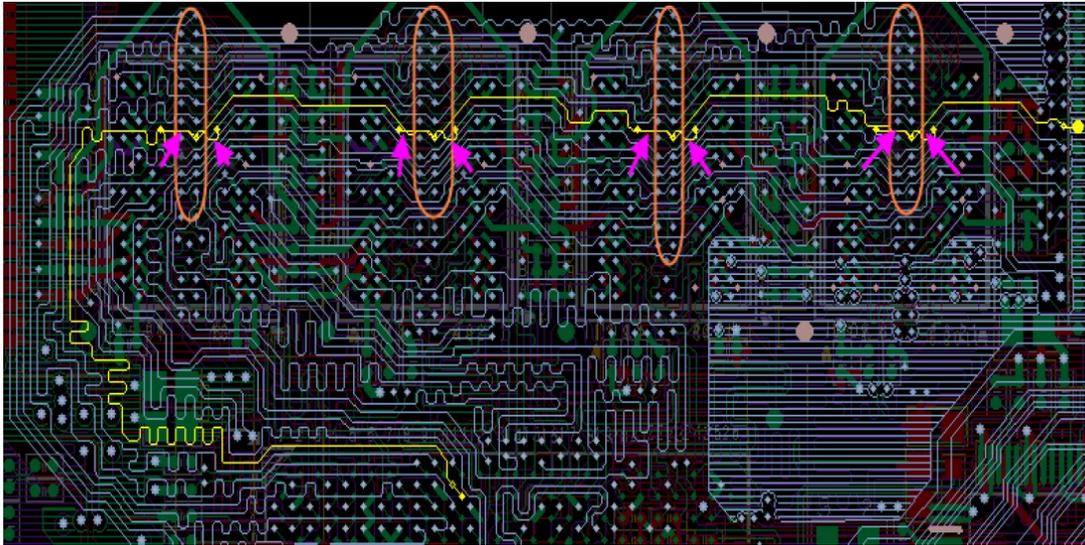
- 地址线布局布线要求优选F ly-By, 过孔到管脚长度尽量短, 长度在150mil左右



# 随机存储器-动态RAM DDR3



- DDR3的布局布线实例
  - 8颗DDR3正反对贴布线示例



# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3芯片设计总结

➤ DDR3(采用树形或菊花链拓扑)

TDQS/TDQS#(8位RAM专用)	严格差分等长设计	严格等长设计, 控制在 ±10mil	尽量控制等长
DQSH/DQSH#	严格差分等长设计		
DQSL/DQSL#	严格差分等长设计		
DQ0~DQ16	严格等长设计, 控制在 ±10mil	尽量控制等长	
DQML/DQMH			
CLK/CLK#	严格差分等长设计		
A0~A11	尽量控制等长, 控制在 ±100mil如果是菊花链拓扑则走线越短越好		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

## 随机存储器-动态RAM DDR4



### DDR4新特点:

- 一. 8位预读取, 外部时钟频率是内部时钟频率的八倍, 数据传输率最高可达3.2Gbps;
- 二. 内核电压仅为1.2V;

### 布局布线要求基本同DDR3;

### 等长要求(推荐以Layout Guide为准、以仿真结果为准):

- 一. 数据线最大长度尽量不超过2500mil, 组内长度误差范围控制在 $\pm 5\text{mil}$ , 得益于Write Leveling技术, DQS与时钟线一般无长度误差要求, 注意尽量查阅Layout Guide或datasheet, 部分芯片会有组间、以及DQS与时钟线的等长要求;
- 二. 地址线误差范围控制在 $\pm 20\text{mil}$ ;
- 三. DQS、时钟差分对内误差范围控制在 $\pm 3\text{mil}$ , 设计阻抗时, 使本对内间距不超过2倍线宽;

## 随机存储器-动态RAM RDRAM



➤ RDRAM是由Rambus公司推出的一种采用双沿触发技术的内存, 有16/18bit (ECC) 两种规格, 能在很高的频率范围内通过一个简单的总线传输数据

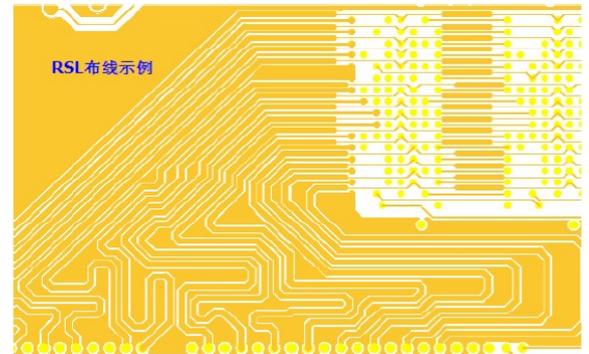
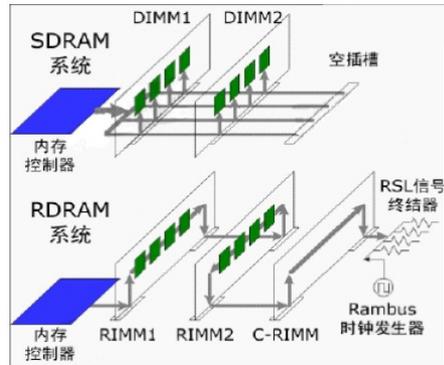
### ➤ 功能管脚说明

信号名	类型	电平	功能描述
DQA (8: 0)	I/O	RSL	数据字节 A。在通道与 RDRAM 器件间进行一个字节的信号传递。在 x16 的系统中 DQA (8) 将不使用。
DQB (8: 0)	I/O	RSL	数据字节 B。在通道与 RDRAM 器件间进行一个字节的信号传递。在 x16 的系统中 DQB (8) 将不使用。
RQ (7: 5) 或 ROW (2: 0)	Input	RSL	行访问控制。传递行访问的控制与地址信号。
RQ (4: 0) 或 COL (4: 0)	Input	RSL	行访问控制。传递行访问的控制与地址信号。
CFM, CFMN	Input	RSL	Clock From Master。从通道中接收 RSL 信号的差分接口时钟。
CTM, CTM#	Input	RSL	Clock To Master。发送 RSL 信号到通道的差分接口时钟。
CMD	Input	CMOS	串行命令输入。与 SIO0 和 SIO1 一起用于读写控制寄存器, 也用于电源管理。
SCK	Input	CMOS	串行时钟输入。用于读写 RDRAM 控制寄存器的时钟源。
SIO1, SIO0	I/O	CMOS	串行输入输出。通过串行协议读写控制寄存器, 也用于电源管理。
Vref		DC	RSL 信号的逻辑门限参考电压。
Vcmos		DC	CMOS 输入输出管脚的电源电压。
Vdda		DC	RDRAM 模拟电路的电源电压。
Vdd		DC	RDRAM 内核与接口逻辑的电源电压。
GNDa		DC	RDRAM 模拟电路的地参考。
GND		DC	RDRAM 内核与接口逻辑的地参考。

## 随机存储器-动态RAM RDRAM



### ➤ RDRAM与 SDRAM架构 比较



特点:

- 1.信号线数目较少，所有信号均为串联接法;
- 2.工作频率极高，所有RSL电平信号都要包地，并以地平面为参考;
- 3.DQ、RQ、和CTM、SCK、CMD等信号的走线长度在分段过程中每一段的长度都必须匹配，匹配的计算不仅包括走线，还包括管脚长度，误差控制在 $\pm 10\mu\text{m}$ 以内;

## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM



# 随机存储器-静态RAM SRAM



## ➤ SRAM的特点

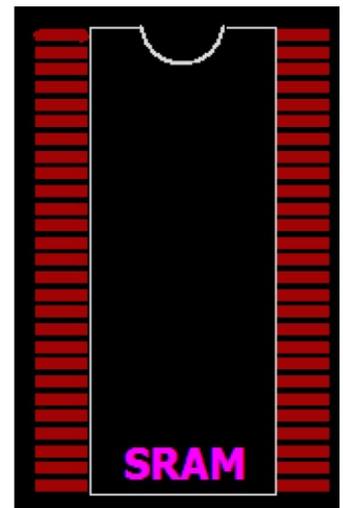
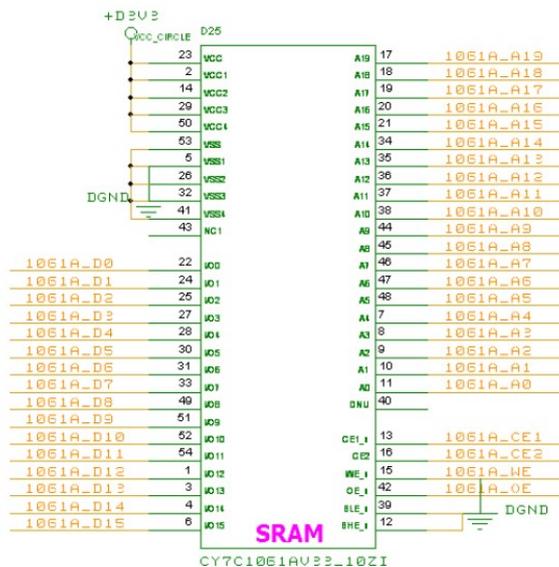
- SRAM是Static RAM缩写，即静态随机存储器，它是一种具有静止存取功能的内存，不需要刷新电路就能保持内部存储数据的有效性，但断电后，数据仍然会丢失
- SRAM存取速度快，但比相同容量的DRAM体积大，功耗也大，因此目前单片SRAM容量一般都是几百K到几十M

# 随机存储器-静态RAM SRAM



## ➤ SRAM的特点

- 右图为SRAM,目前SRAM运用较为广泛的是QDR SRAM系列

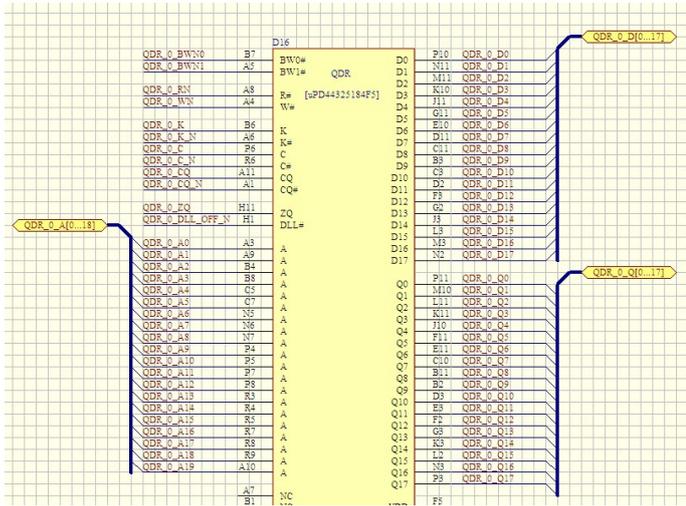


# 随机存储器-静态RAM QDR



## QDR的设计

QDR的新特性: 可在一个时钟周期内传送四次数据 (两次读与两次写数据)



信号名。	功能描述。
K, K#。	输入时钟。
C, C#。	用于输出数据的输入时钟。
SA。	地址信号输入。
D0-17 (35)。	数据信号输入。
Q0-17 (35)。	数据信号输出。
W#。	写操作控制信号。
R#。	读操作控制信号。
BW0#- BW 1 (3) #。	字节写控制信号。
Vref。	输入参考电平。
ZQ。	输出驱动器阻抗控制端。
VDD。	电源电压 (2.5V)。
VDDQ。	输出 IO 电源电压 (1.5V 或 1.8V)。
VSS。	地管脚。
TMS, TCK, TDI, TDO。	JTAG 测试模式控制管脚。

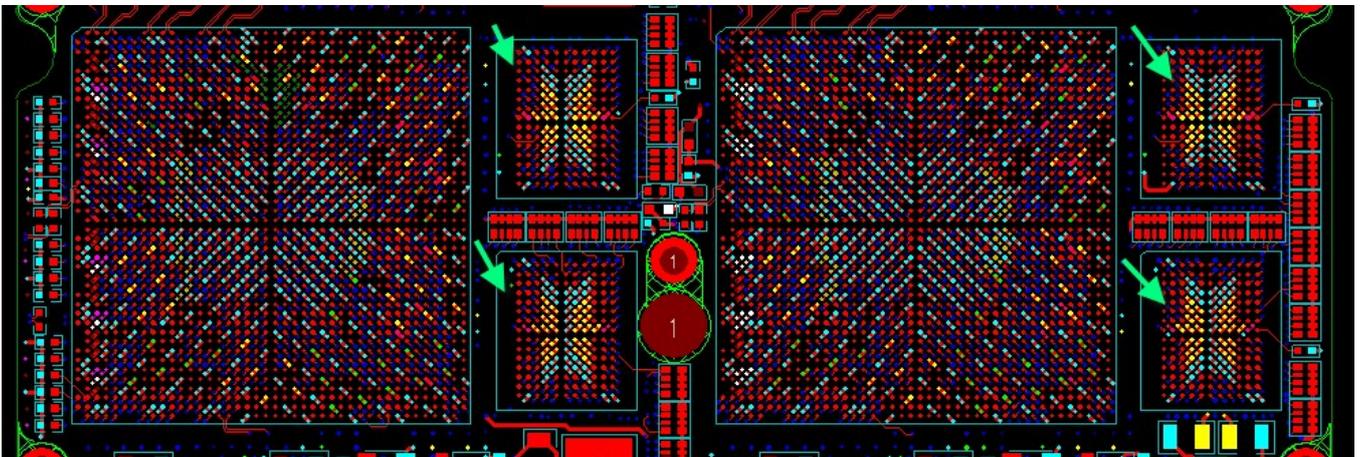
# 随机存储器-静态RAM QDR



## QDR的布局

布局与DDR类似

A型



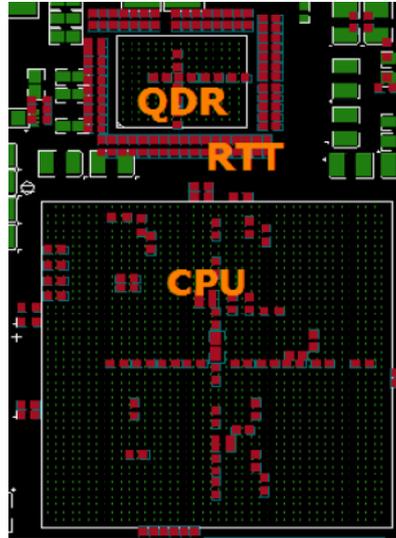
随机存储器-静态RAM QDR



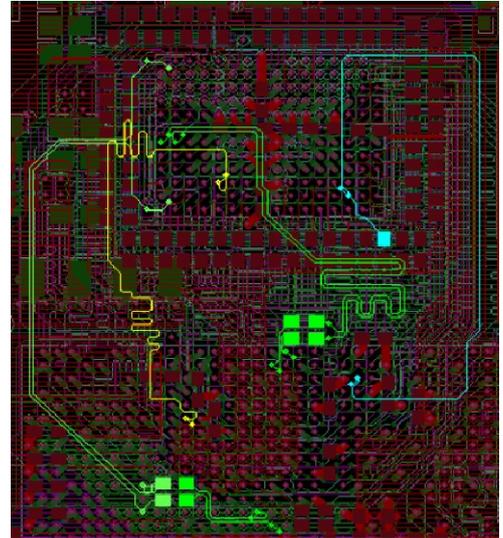
QDR的布局

布局与DDR类似

B型



C型



随机存储器-静态RAM QDR



QDR的时序设计

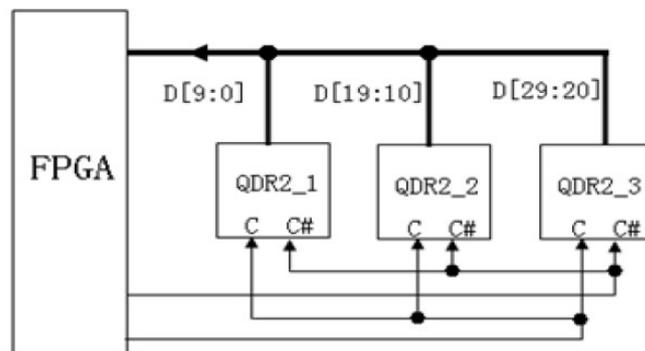
7	QDR信号数据信号	QDR_0_D0-17 QDR_0_Q0-17	组内信号误差25mil正负
8	QDR信号时钟信号	QDR_0_K QDR_0_K_N QDR_0_C QDR_0_C_N QDR_0_CQ QDR_0_CQ_N	时钟差分误差小于10mil 不同差分对尽量等长
9	QDR地址命令控制信号	QDR_0_A0-18 QDR_0_BWN0 QDR_0_BWN1 QDR_0_RN QDR_0_WN QDR_0_ZQ QDR_0_DLL_OFF_N	尽量等长

## 随机存储器-静态RAM QDR



QDR2 SRAM规范中要求K/K#时钟和C/C#时钟的偏移必须大于0，因为QDR的同时读写特点，假设在同一时钟周期内，要对同一个地址的数据进行读操作和写操作，规范要求是，要先进行写操作，后进行读操作，也就是写参考时钟K/K#需要比读参考时钟C/C#先到达。但是，规范中同时规定，C/C#时钟与K/K#时钟之间的skew必须小于三分之一时钟周期。

因此如果将多片QDR2 SRAM器件并联使用的并且有C/C#时钟的话，需要注意C/C#时钟的PCB走线方式，即C/C#时钟须先到达最远端的QDR器件，最后到达最近处的QDR器件，这样，参考时钟信号的延迟正好可以抵消数据信号的延迟，确保几个器件上的数据保持同步，如下图所示。



## 随机存储器-静态RAM QDR



QDR2等长要求(推荐以Layout Guide为准、以仿真结果为准):

- 一. 输入时钟K/K#和写数据信号D[17:0]设为一个组等长，组内误差+/-25mil;
- 二. 输出时钟CQ/CQ#和读数据信号Q[17:0]设为一个组等长，组内误差+/-25mil;
- 三. 其他地址信号和控制信号设为一个组等长，组内误差+/-50mil，同时与系统时钟K/K# 误差+/-100mil，与数据组误差+/-100mil;
- 四. 差分线组内误差+/-5mil;

其实由上述规则可以看出，读、写数据和地址、控制信号，以及输入输出时钟是存在时序关系的，因此，在等长设定时可将左右信号设成一个组等长，误差设为+/-25mil;

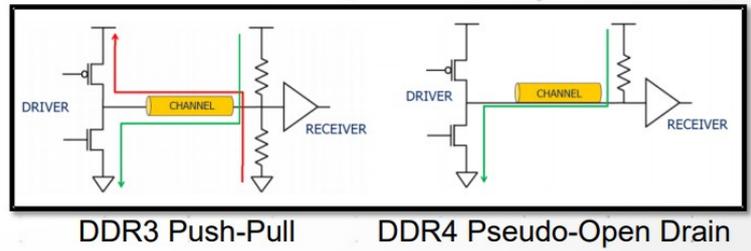
# DDR4



Specification	DDR2	DDR3	DDR4
Voltage	1.8 V	1.5 / 1.35 V	1.2 V
Per Pin Data Rate (Mbps)	400-1066	800-2133	1600-3200
Channel Bandwidth (GBps)	3.2-8.5	6.4-17	12.8-25.6
Component Density	512 MB–2 GB	1-8 GB	2-16 GB

- Lower VDD voltage and Pseudo-Open Drain (POD) reduces power consumption by 40%
- Internal VREF training performed within the IC receiver, to optimize VREF level. Retraining at regular intervals.
- Data lines are calibrated at the IC, to reduce their skew to the strobe.
- Data bus inversion (DBI)

Image Source: Micron Technology



DDR3 Push-Pull

DDR4 Pseudo-Open Drain

# DDR4



## DDR4 High Speed => Less Timing Margin

Shrinking Timing Margins in Picoseconds

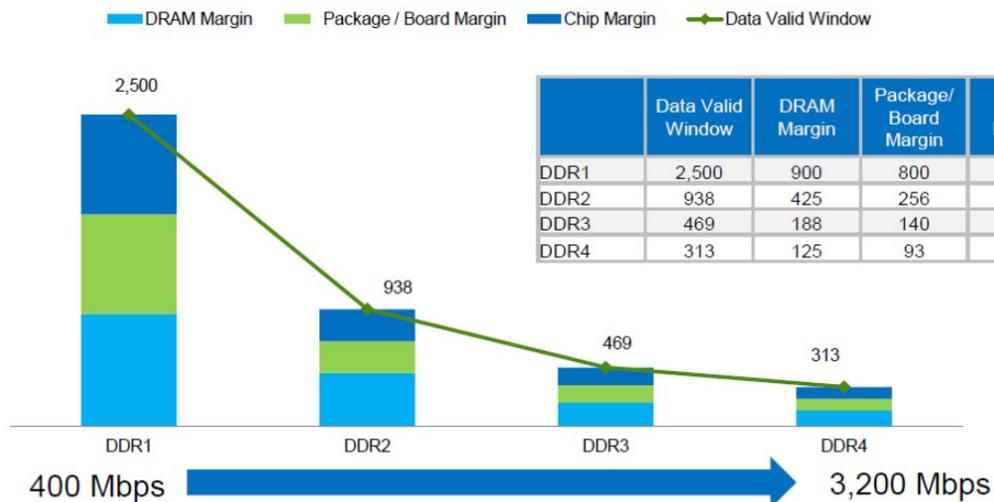


Image Source: Altera

## DDR4



DDRx SDRAM参数						
	DDR	DDR2	LPDDR2	DDR3	LPDDR3	DDR4
速率(Mbps)	200 ~ 400	400 ~800	333 ~ 1066	800 ~ 2133	1333 ~ 2133	1600~3200 (SE) ~6400 (Diff)
VDDQ(V)	2.5	1.8	1.2	1.5	1.2	1.2
电平接口	SSTL_2	SSTL_18	HSUL_12	SSTL_15	HSUL_12	POD12
选通信号	单端	可选单端/差分	差分	差分	差分	差分
ODT	无	有	无	有	可选	有
Slew RateDerating	有	有	有	有	有	无
WriteLeveling	无	无	无	有	有	有
DBI	无	无	无	无	无	有

## DDR4



### DDR3 新功能

- DDR3新增的重置(Reset)功能
- DDR3新增ZO校准功能
- 突发长度(Burst Length, BL), 由于DDR3的预取为8bit, 所以突发传输周期(Burst Length, BL)也固定为8
- 寻址时序(Timing)变化
- 参考电压分成两个VREF将分为两个信号, 即为命令与地址信号服务的VREFCA和为数据总线服务的REFDQ, 这将有效地提高系统数据总线的信噪等级

## DDR4



### DDR4 新功能

- 新的JEDEC POD12接口标准（工作电压1.2V）；
- DBI：可以降低功耗并且提升数据信号完整性；
- Bank群组结构：是个8n预取群组结构，它可以使用两个或者四个Bank组，这允许DDR4内存在每个Bank群组单独被激活、读取、写入或刷新操作，这样可以带来更高的内存速度和带宽；
- 取消了Derating，时序仿真计算不再繁琐；
- DQ动态确定Vref（V\_center），增加了眼图要求；
- 新的终止调度：在DDR4中DQ bus可以转移终止到VDDQ，这样即使VDD电压降低的情况下也能保证稳定；
- 新的数据总线CRC技术，可以进行传输过程中的错误侦测，特别对非ECC内存进行写入操作时有帮助；
- 针对命令和地址总线的新的CA奇偶校验；
- 突发长度和突发停止长度分别为8和4；
- 正常和动态的ODT:改进ODT协议，并且采用新的Park Mode模式可以允许正常终结和动态吸入终结，而不需要去驱动ODT Pin；
- \*Differential Signaling（差分信号技术）

## DDR4 vs DDR3



特点	DDR3	DDR4	备注
信令变化			
电压(内核和I/O)	1.5V	1.2V	降低能耗
低压标准	是(DDR3L@ 1.35V)	预计(DDR4L, 可能1.05V)	内存能耗下降
数据速率(MT/s)	800, 1066, 1333, 1600, 1866, 2133	1600, 1867, 2133, 2400, 2667, 3200	演进到更高速度
密度	512Mb - 8Gb	2Gb -16Gb	满足更高容量的内存需求
DBI	无	有	更低功耗和更好的信号完整性
DQ驱动器(ALT)	40欧姆	48欧姆	为点到点应用优化
DQ总线	SSTL 15	POD 12	降低I/O噪声和能耗
RTT值	120, 60, 40, 30, 20	240, 120, 80, 60, 48, 40, 34	支持更高的数据速率
堆叠引脚	否	是	适用于未来的更高密度的模块

## DDR4 Skew/等长



	DDR3	DDR4
Source-Synchronous Signal	同组DQ/ECC与对应DQS等长保持在100mil内	同组DQ/ECC与对应DQS等长保持在50mil内
	DQS 差分线对内等长保持在5mil内	DQS 差分线对内等长保持在5mil内
	同组DQ/ECC等长保持在30mil内	同组DO/ECC等长保持在10mil内
	同组信号严格要求同层走线	同组信号严格要求同层走线
Clock Signal	CLK差分线对内等长保持在2mil内	CLK差分线对内等长保持在2mil内
	同一DIMM的CLK之间等长保持在20mil内	同一DIMM的CLK之间等长保持在5mil内
Source Clocked Signal(MA[15:00], BA[2:0], RA S_N, CAS_N, WE_N, MA_PAR)/BG[1:0], ACT_N, C[2]	同一个DLL组, CMD要求等长保持在500mil内所有CMD信号要求与对应时钟保持在2inch内	同一个DLL组, CMD要求等长保持在25mil内所有CMD信号要求与对应时钟保持在2inch内
Source Clocked SignalCS_N[9:0], ODT[5:0], CK E[5:0]	同一个DLL组, UDIMM CTL要求与时钟等长保持在100mil内, for RDIMM保持在240mil内	同一个DLL组, CTL要求与时钟等长保持在25mil内, for RDIMM保持在100mil内

DDR3摘自Intel Romley PDG; DDR4摘自Intel Grantley PDG

## DDR4 Crosstalk/串扰



	DDR3	DDR4
Source-Synchronous Signal	同组DQ/ECC/DQS最小间距:内层17mil(4.25H)外层19mil(7.03H)	同组DQ/ECC/DQS最小间距:内层17mil(4.25H)外层19mil(7.03H)
	组间DQ/ECC最小间距: 内层32mil,外层27mil	组间DQ/ECC最小间距:内层32mil,外层27mil
	同层通道间DQ/ECC最小间距:内层40mil,外层32mil	同层通道间DQ/ECC最小间距:内层40mil,外层32mil
	DQ/ECC在DIMM Pin处间距: 内层9mil,外层12mil	DQ/ECC在DIMM Pin处间距:内层17mil,外层19mil
Clock Signal	CLK差分线对内间距5mil	CLK差分线对内间距5mil
	CLK差分线与其他信号间距:内层12mil,外层13.5mil	CLK差分线与其他信号间距:内层12mil,外层13.5mil
Source Clocked Signal(MA[15:00], BA[2:0], RA S_N, CAS_N, WE_N, MA_PAR)/BG[1:0], ACT_N, C[2]	CMD信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCMD信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCMD信号在DIMM Pin处间距: 内层9mil,外层12mil	CMD信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCMD信号与DQ信号最小间距: 内层32mil,外层27milCMD信号在DIMM Pin处间距: 内层4.9mil,外层6.9mil
Source Clocked signalCS_N[9:0], ODT[5:0], CK E[5:0]	CTL信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCTL信号与DQ信号最小间距: 内层32mil,外层27milCTL信号在DIMM Pin处间距:内层9mil,外层12mil	CTL信号之间间距: 内层12mil,外层13.5milCTL信号与DQ信号最小间距: 内层32mil,外层27milCTL信号在DIMM Pin处间距: 内层4.9mil,外层6.9mil

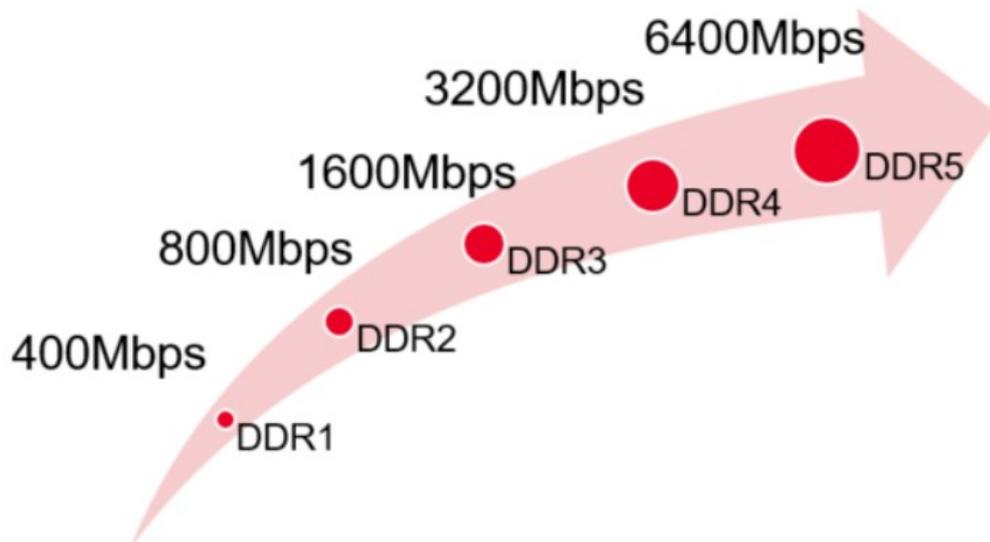
DDR3摘自Intel Romley PDG; DDR4摘自Intel Grantley PDG

## DDR5 vs DDR4

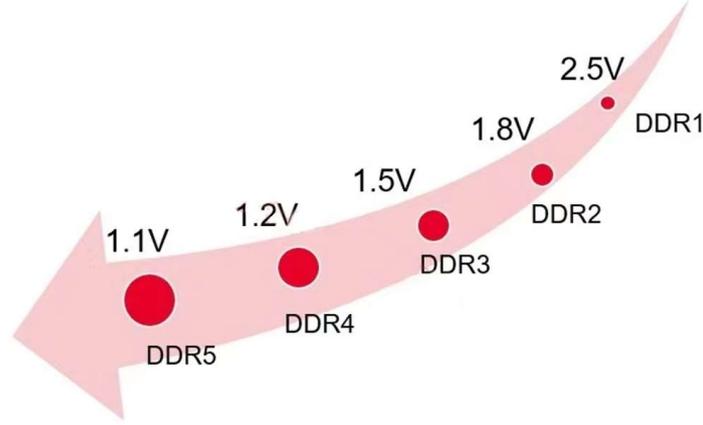
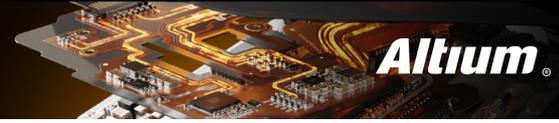


对比项目	DDR4	DDR5
速率	1.6G~3.2G	3.2G~6.4G
电压	1.2V	1.1V
均衡	无	有
ODT	DQ	DQ,CA
Prefetch	8n	16n
BL	BL8	BL16
单颗DRAM容量	16Gb	32Gb

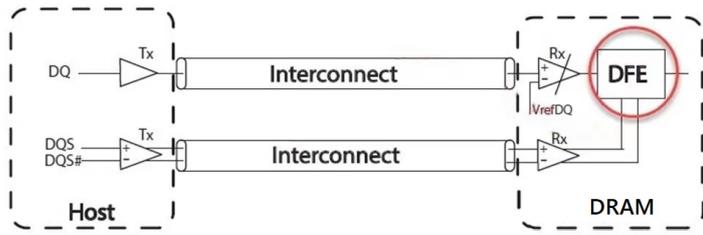
## DDR5-速率



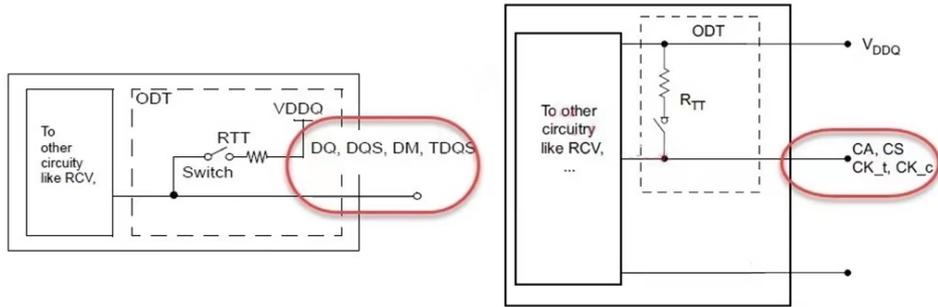
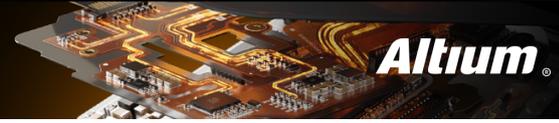
# DDR5 - 电压



# DDR5 - 均衡



# DDR5 - ODT



# DDR5 - 单颗容量



单颗DRAM的容量变得更大，DDR5的单颗容量可以达到32Gb。

## DDR5 - Burst length



Function	Register Type	Operand	Data	Notes
Burst Length	R/W	OP[1:0]	00 <sub>B</sub> : BL16 01 <sub>B</sub> : BC8 OTF 10 <sub>B</sub> : BL32 (Optional) 11 <sub>B</sub> : BL32 OTF (Optional)	
			00000 <sub>B</sub> : 22	

## DDR5 - Prefetch

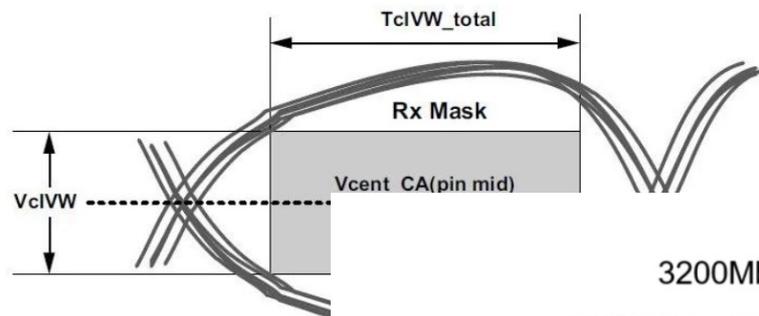
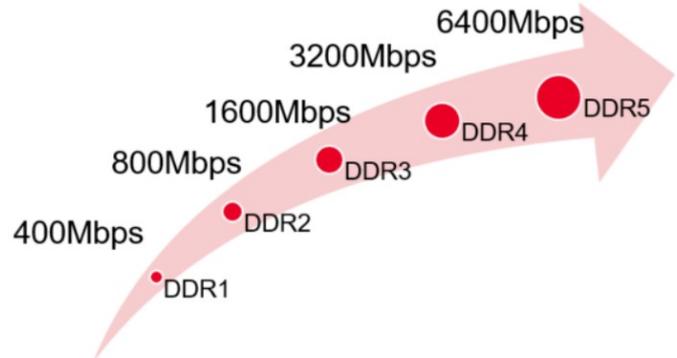


Figure 179



# DDR5



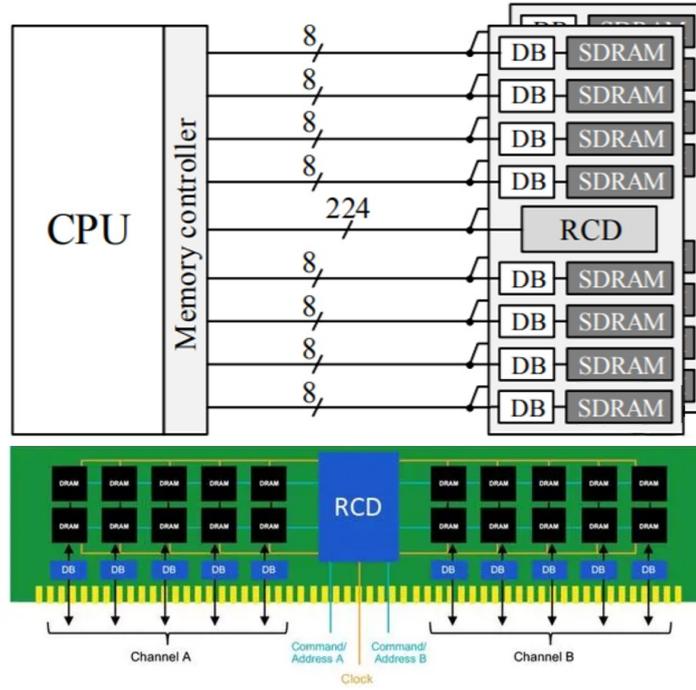
<p>DDR6?</p> <p><b>"Shannon Speed"</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Complex modulation?</li> </ul>	<p><b>Signal</b></p> <p><b>Specification</b></p> <p><b>Design</b></p>
<p><b>IQ Threshold</b></p> <p>DDR5</p> <p><b>"Hyper Speed"</b> - No visible eye</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pre/De-Emp., impulse resp</li> </ul>	
<p><b>Impulse Response Threshold</b></p> <p>DDR4</p> <p><b>"Serial Speed"</b> - Clock often embedded</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eye Diagrams/Masks</li> <li>Error rates, Jitter/Noise</li> </ul>	
<p><b>Jitter &amp; Noise Threshold</b></p> <p>DDR3</p> <p>DDR2</p> <p>DDR</p> <p><b>"High Speed"</b> - Transmission lines</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Timing</li> <li>Impedance / load curves</li> </ul>	
<p><b>Signal Integrity Threshold</b></p> <p>Static RAM</p> <p><b>"Low Speed"</b> - Auto place and route</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fanout</li> <li>Capacitance</li> </ul>	

# DDR5



Features	DDR4	DDR5	DDR5 Advantages
Speed	1600 to 3200 MT/s data rate 0.8 to 1.6 GHz clock rate	3200 to 6400 MT/s data rate 1.6 to 3.2 GHz clock rate	Higher bandwidth DDR5-4800 initial designs
IO Voltage	1.2V	1.1V	Lower power
Power Management	On motherboard	On DIMM PMIC	Better power efficiency
Channel Architecture	bit data channel(64 data + 8 ECC) 1 channel per DIMM	40-bit data channel(32 data + 8 ECC) 2 channels per DIMM	Higher memory efficiency
Burst Length	BC4, BL8	BC8, BL16	Higher memory efficiency
DRAM Size Supported	16 Gb	32 Gb	Higher capacity DIMMS

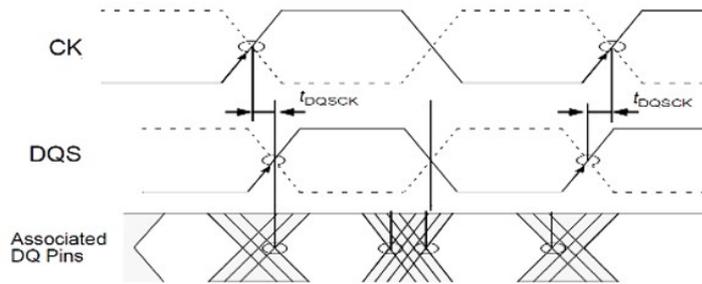
# DDR5



# DDR5特点



1.采用分离式全速率时钟，对应6400M T/s频率最高达3.2GHz



DDR5 DQS控制DQ读写时序

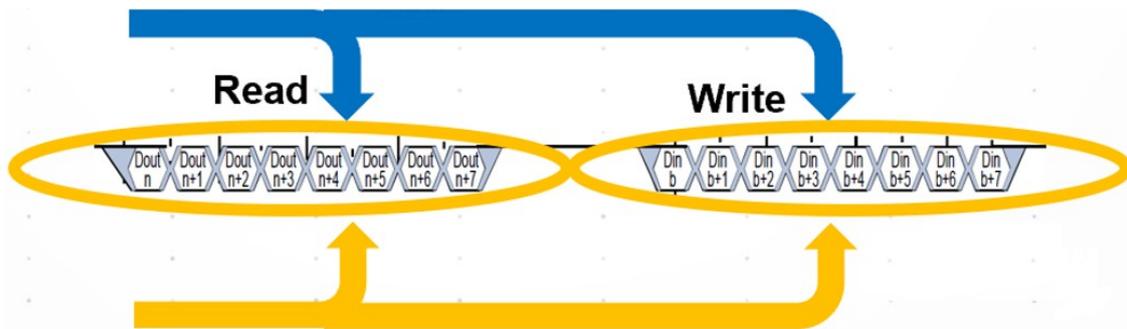
# DDR5特点



2.更宽的总线，单端信号，从RCD(Registering ClockDrivers)芯片来看采用Multi-Drop架构。

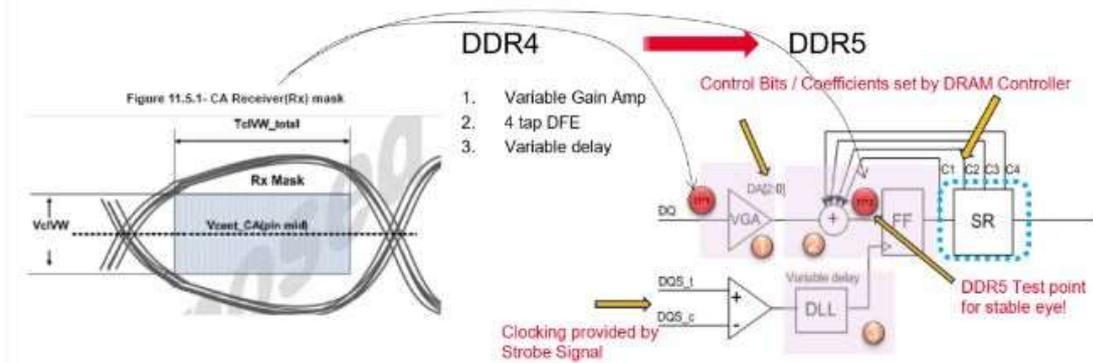
基于今天更宽的总线需求，在一块刀片服务器上可能支持1000+个并行数据通道。且由于继续采用单端信号且速率倍增，传统只在串行差分电路上考虑的损耗问题也开始困扰DDR5.因此在DDR5设计和验证测试上，不仅需要考虑传统的串扰问题还增加了对电路损耗问题的考虑

# DDR5特点



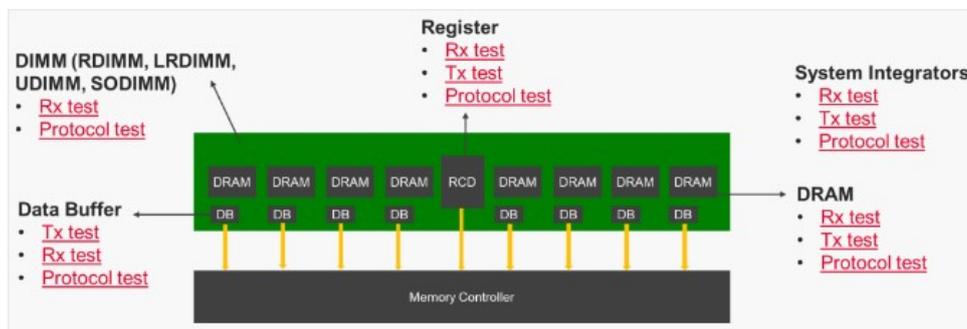
DDR5读写共享总线

# DDR5特点



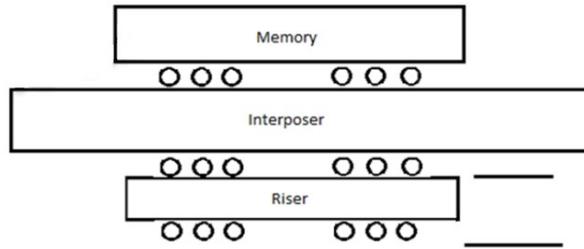
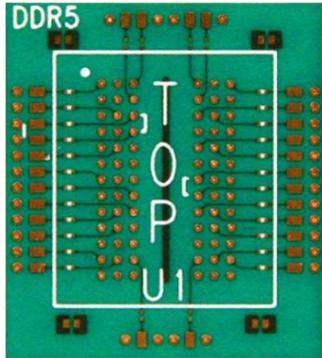
DDR5在接收端采用更多的类似高速串行总线的信号处理

# DDR5特点



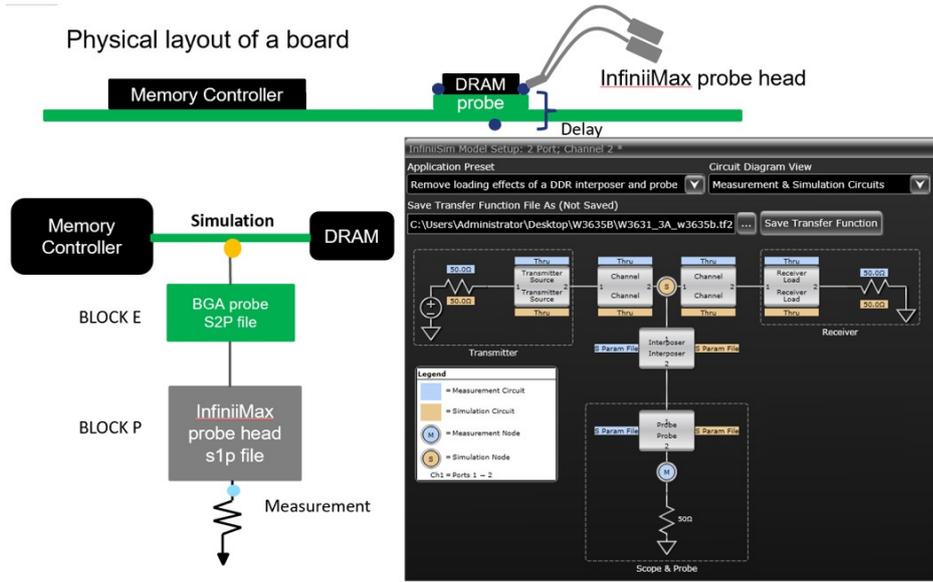
DDR5生态系统

# DDR5



DDR5 BGA Probe和板上安装示意图

# DDR5



InfiniiSim用于DDR BGA Probe去嵌示意图

Altium®

# 常用存储器的PCB设计

2023

林超文  
EDA技术总监



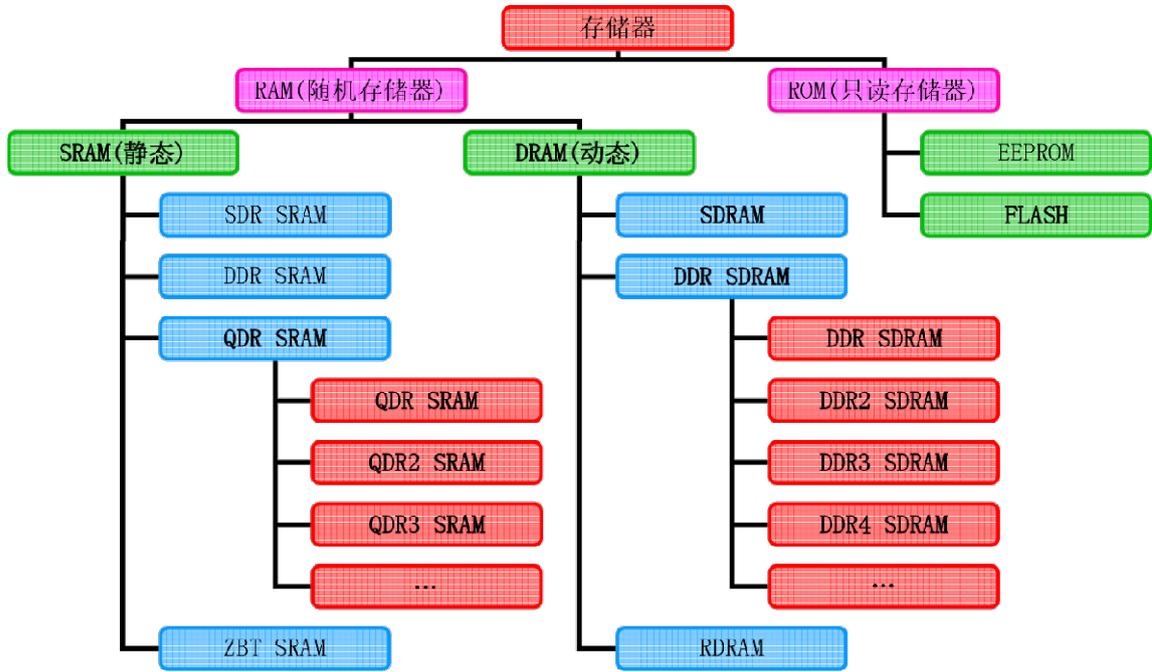
## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM

Altium®



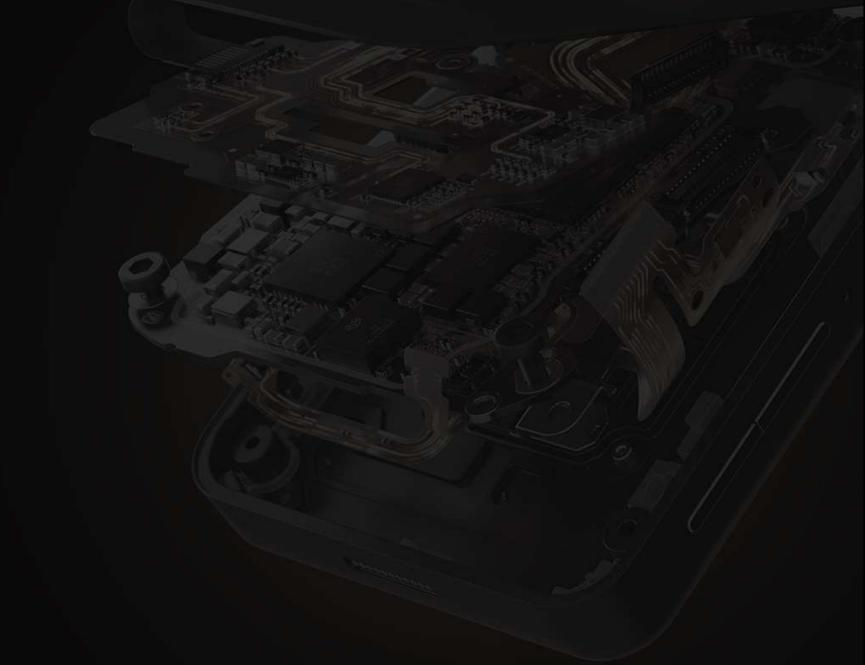
# 常用存储器分类



## Agenda



- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM

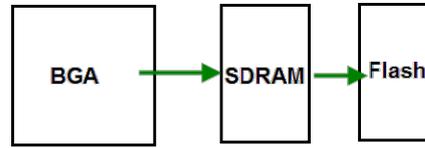


# 只读存储器ROM-FLASH



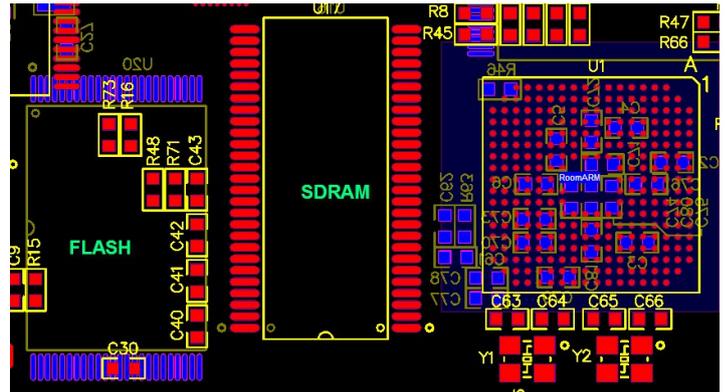
## FLASH特点

- 速率较低, 通常在50Mhz以下
- 静态存储



## 布局

- 一般采用菊花链
- Flash和SDRAM的推荐距离为500-1000mil

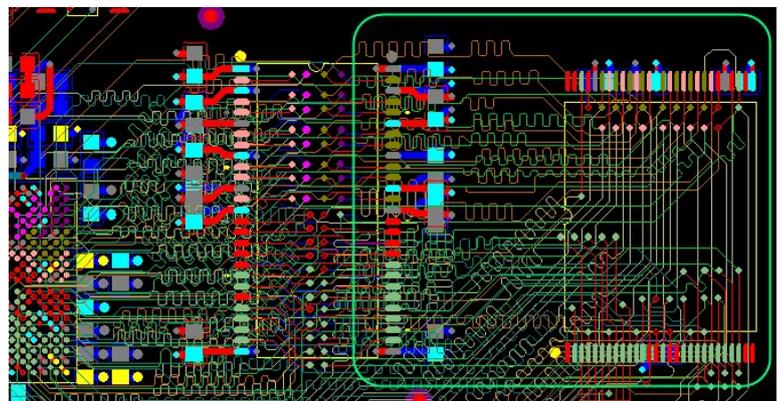
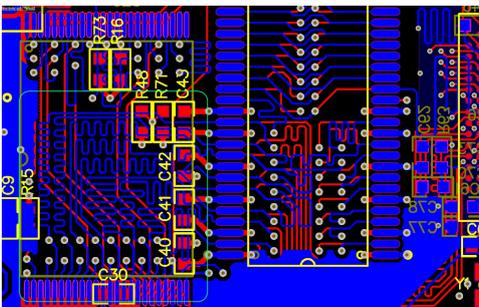


# 只读存储器ROM-FLASH

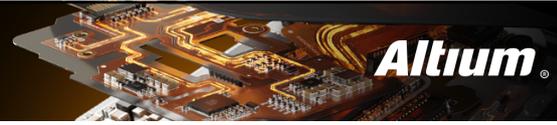


## 布线

- 特性阻抗:50欧
- 线间距3W
- 等长范围: +/-100mil



## 只读存储器ROM-EEPROM电路概述



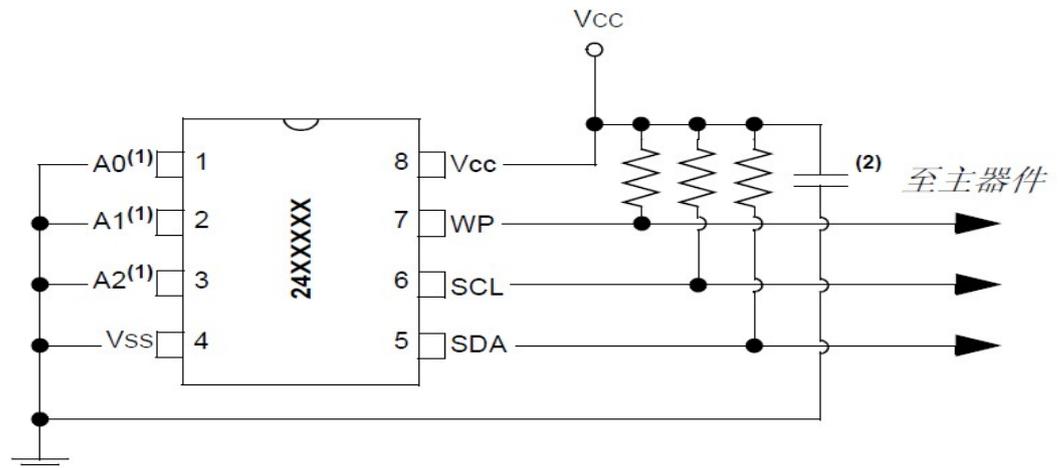
### ► EEPROM

EEPROM（电可擦可编程只读存储器）这是一种具有可擦除功能，擦除后即可进行再编程的ROM内存，一种掉电后数据不丢失的存储芯片，EEPROM可以在电脑上或专用设备上擦除已有信息，重新编程。这类芯片一般用于即插即用。

## 只读存储器ROM-EEPROM典型电路



### ► 典型连接方式



- 1.在某些器件中，引脚A0，A1，A2在内部未连接
- 2.应使用一个去耦合电容（通常为0.1UF）来帮助滤除VCC上的小纹波

## 只读存储器ROM-EEPROM典型电路

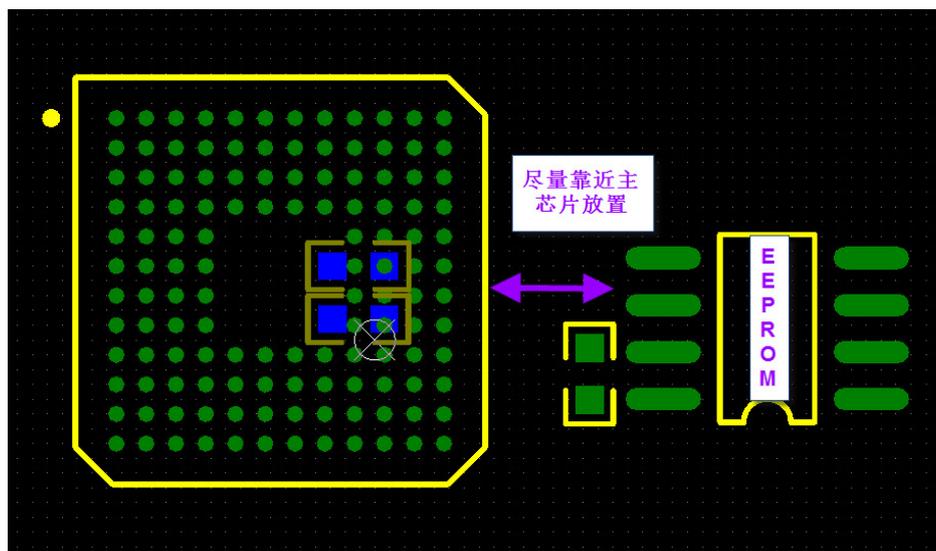


- 1.2.3: A0 A1 A2 器件地址选择
- 5: SDA 串行数据, 地址
- 6: SCL 串行时钟
- 7: WP 写保护
- 8: VCC +1.8V~6.0V工作电压
- 管脚定义

## 只读存储器ROM-EEPROM布局要求



- 靠近主芯片放置, 使距离尽量短

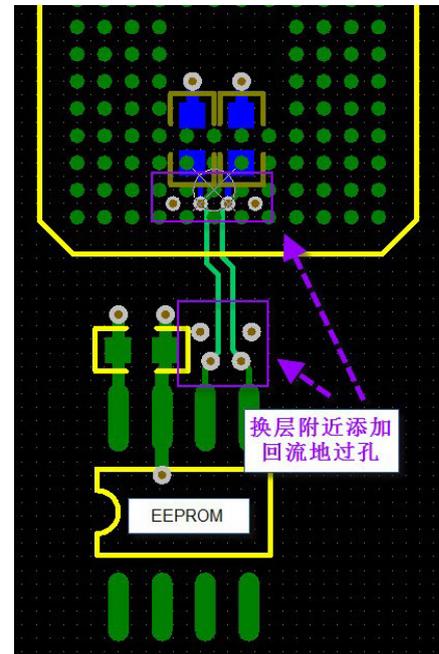


## 只读存储器ROM-EEPROM布线要求



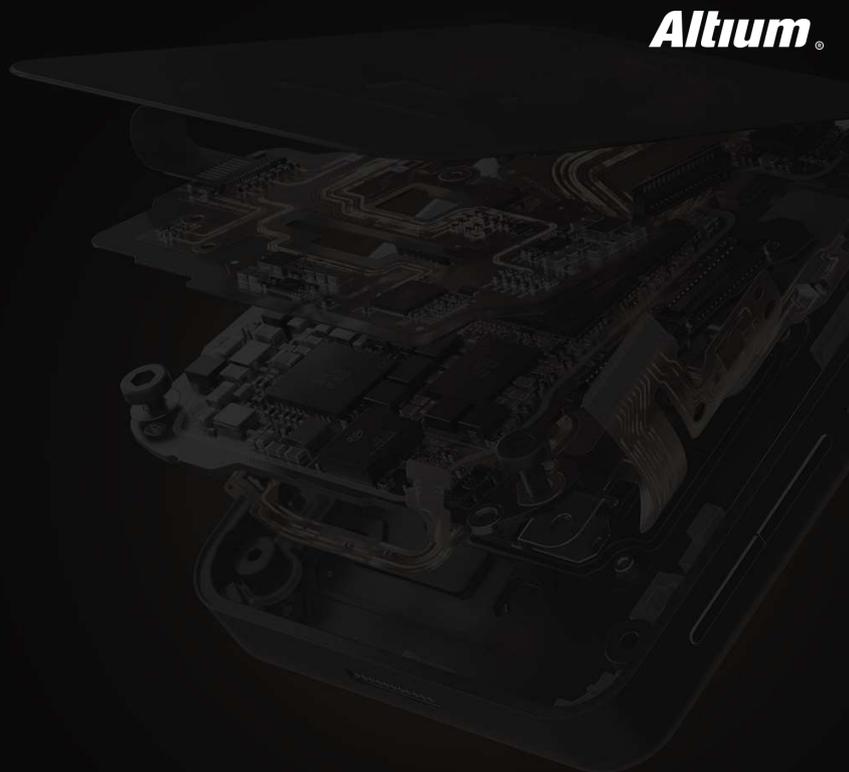
### ▶ EEPROM电路布线要求

- (1) 控制50欧姆阻抗。
- (2) 两根线并行走，与其他信号线保持3W以上的间距。
- (3) 尽量在表层走线；如需换层，需要有完整的参考平面，保持阻抗连续性；并保证过孔数量不超过3个。  
且在换层处100mil以内添加一个或者两个回流地过孔。



## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM（同步动态随机存储器）

#### ➤ 管脚定义解释

信号名。	功能描述。
CLK。	时钟。
CKE。	时钟使能。
CS#。	片选。
WE#。	读写。
RAS#。	列选。
CAS#。	行选。
DQM。	数据掩码。
BA0, BA1。	Bank 选择。
A0-A11。	地址。
DQ0-DQ15。	数据（输出）。
VDDQ。	DQ 电源。
VSSQ。	DQ 地。
VDD。	电源。
VSS。	地。

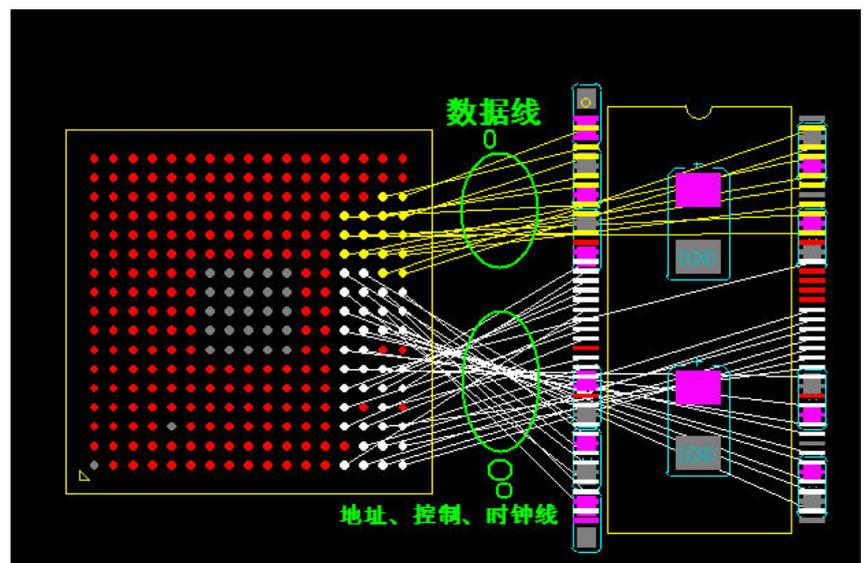
## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的布局原则：

靠近CPU放置

- SDRAM X 1片时：点对点的布局方式
- SDRAM到CPU的中心距离为：  
当中间无排阻时：900-1000mil  
当中间有排阻时：1000-1300mil



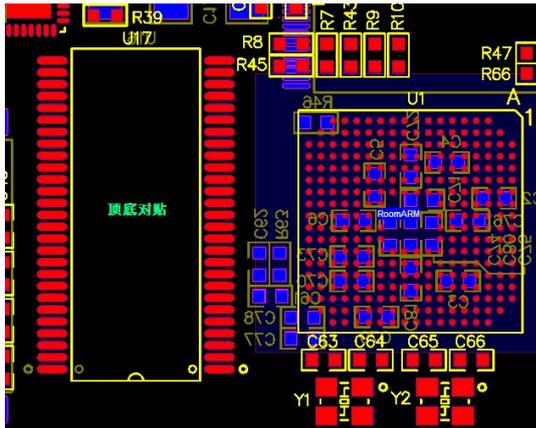
## 随机存储器-动态RAM SDRAM



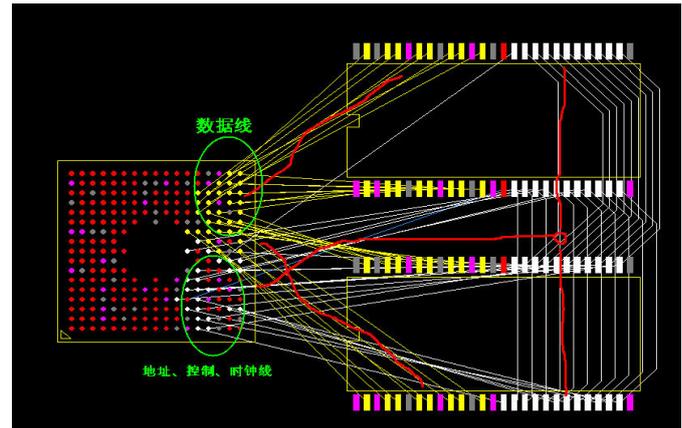
### ➤ SDRAM的布局原则:

- SDRAM X 2片时: 相对于CPU严格对称

方案一: 顶底对贴 (推荐)



方案二: 与CPU放在同一面



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的布线

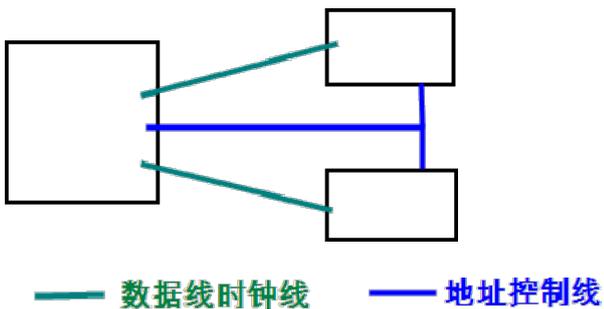
- 特性阻抗: 50欧姆
- 数据线每9根尽量走在同一层(D0~D7,LDQM;D8~D15,HDQM)
- 数据线、地址(控制)线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W
- 空间允许的情况下,应该在它们走线之间加一根地线进行隔离。地线宽度推荐为15-30mil
- 完整的参考平面
- 布线拓扑结构(默认采用远端分支)-T点(过孔)打在两片SDRAM中间

## 随机存储器-动态RAM SDRAM

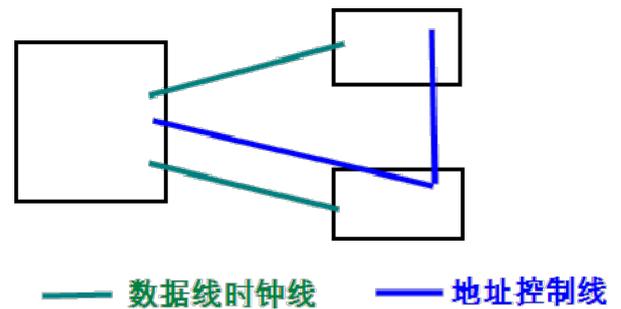


### ➤ SDRAM的拓扑结构

远端分支(星形/T形)



菊花链



## 随机存储器-动态RAM SDRAM



### ➤ SDRAM的等长布线

#### ➤ Class规则:

将所有数据线设为sdr<sub>m</sub>\_data\_bus;

地址线,控制线,时钟线设为sdr<sub>m</sub>\_addr\_bus

#### ➤ 等长规则:

所有信号线参照时钟线的长度等长

#### ➤ 误差范围:

数据线误差范围控制在+/- 50mil

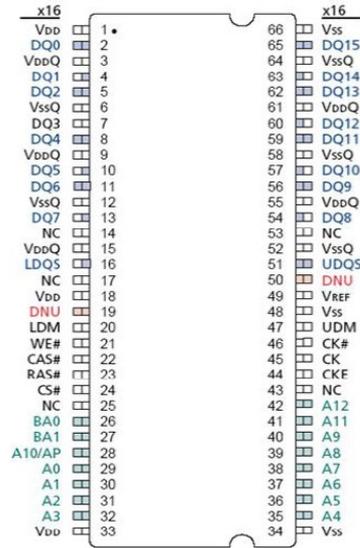
地址线误差范围控制在+/- 100mil

# 随机存储器-动态RAM DDR



## DDR的设计

### 管脚定义解释



DDR SDRAM 封装结构图

管脚数	信号名	功能描述
2	CK, CK#	全局时钟输入。
1	CKE	时钟使能信号输入。
1	CS#	片选信号输入。
3	RAS#, CAS#, WE#	命令信号输入。
2	LDM, UDM	数据 mask 信号输入。
13*	A<0..12>	地址信号输入。
2	BA0, BA1	BANK 选择信号输入。
16*	DQ<0..15>	数据信号输入/输出。
2	LDQS, UDQS	数据锁存信号输入/输出。
5*	NC	空引脚。
2	DNU	不使用引脚。
5	VDDQ	DQ 电源电压 (2.5V)。
5	VSSQ	DQ 地。
3	VDD	器件电源电压 (2.5V)。
3	VSS	器件地。
1	VREF	SSTL_2 参考电压。

DDR SDRAM 管脚功能说明

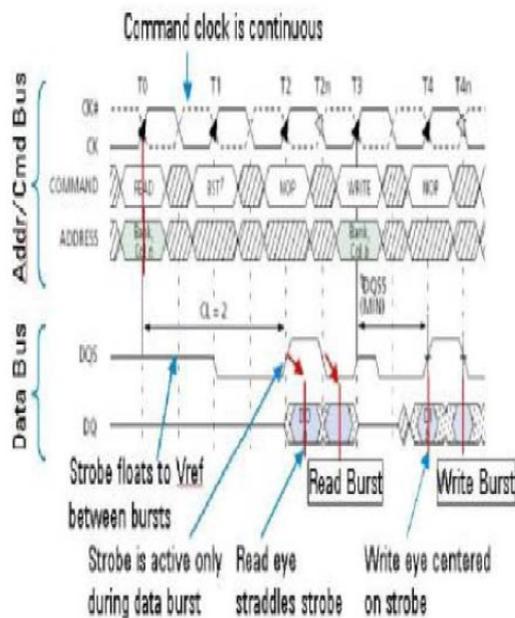
# 随机存储器-动态RAM DDR



## DDR的设计

### 工作原理:

- 一. DDR的读写操作时序如图所示。图中，命令信号与地址信号参考CK信号上升沿输入到DDR。
- 二. 读数据时DQ随着DQS并参考DQS信号沿输出，写数据时DQ随着DQS并参考DQS的信号沿输入，读写数据时DQS都是双沿有效。
- 三. 读数据时，输出的DQS由送入DDR的差时钟CK/CK#使用DDR存储器中的一个DLL生成DQS，并使之与输出数据对齐。
- 四. 虽然DDR存储器不用差分输入时钟来发送或接收数据，但是所用DQS信号与输入时钟的频率有关。

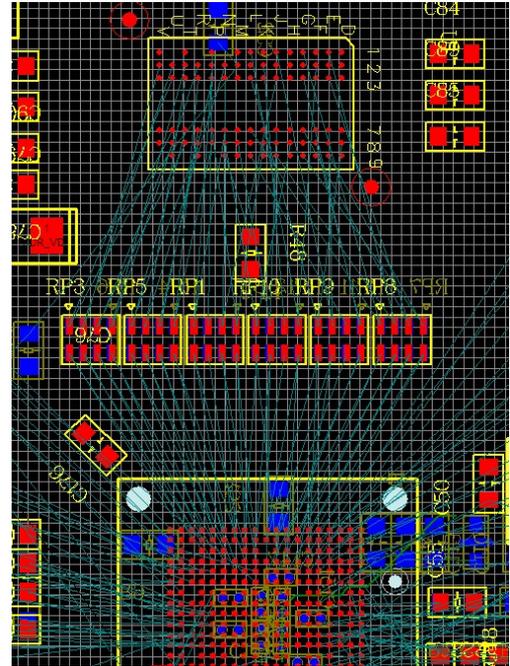


# 随机存储器-动态RAM DDR



## ➤ DDR的布局

- 布局原则是：靠近CPU摆放
- DDRx1片时，点对点的布局方式
- DDR到CPU推荐的中心距离：
  - 当中间无排阻时：900-1000mil
  - 当中间有排阻时：1000-1300mil

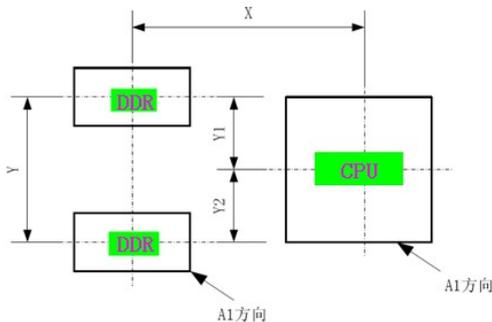


# 随机存储器-动态RAM DDR

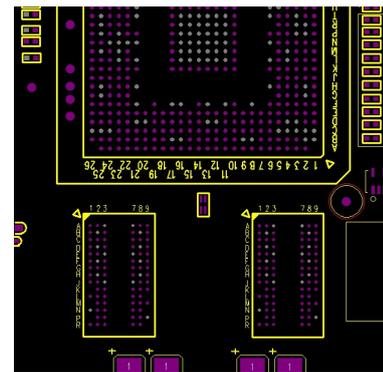


## ➤ DDR的布局

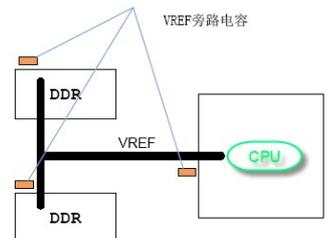
- DDRx2片时,相对于CPU严格对称



- $X < 1660\text{mil}$
- $Y < 1280\text{mil}$
- $Y1 = Y2 < 650\text{mil}$



## ➤ VREF电容的位置



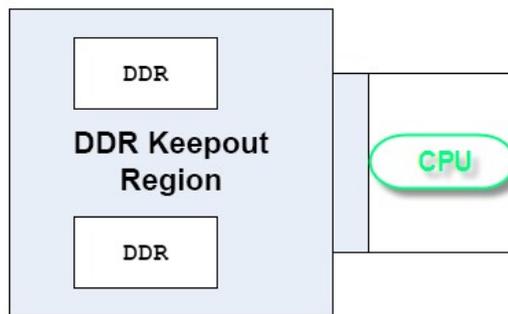
## 随机存储器-动态RAM DDR



### ➤ DDR保护区域

DDR2 保护区域 (Keepout Region): DDR2 内存组, 所有同 DDR 相关的阻容电路, 一直向 CPU 方向延伸至 CPU 的 DDR 控制器, 称为 DDR 保护区域 (DDR Keepout Region)。这个区域里需满足以下条件:

- 不得出现与 DDR 无关的信号。
- 必须提供完整的地平面 (信号线下方地平面不得中断)。
- 必须提供完整的 VCC\_1V8 电源平面 (信号线下方电源平面不得中断)。



## 随机存储器-动态RAM DDR



- 特性阻抗:单端50欧,差分100欧
- 数据线每10根尽量走在同一层 (D0~D7,LDM,LDQS)( D8~D15,UDM,UDQS )

- 信号线的间距满足3W原则

### ➤ DDR的布线

- 数据线、地址 (控制) 线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W
- 完整的参考平面
- VREF电源走线推荐  $\geq 20 \sim 30\text{mil}$
- 误差范围:  
差分对误差严格控制在5mil  
数据线误差范围控制在  $\pm 25\text{mil}$   
地址线误差范围控制在  $\pm 100\text{mil}$

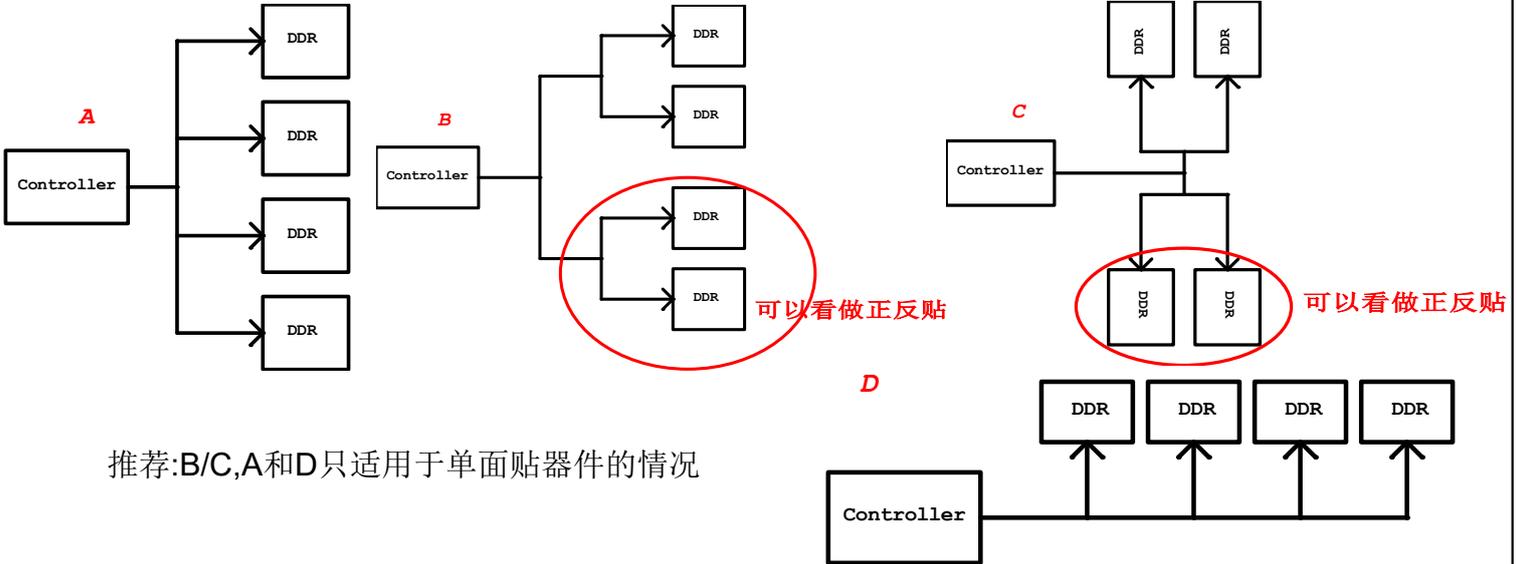


# 随机存储器-动态RAM DDR



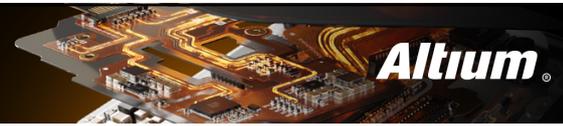
## DDRx4片的等长布线

仍然可以套用两片时的拓扑，只是将树或者星做大



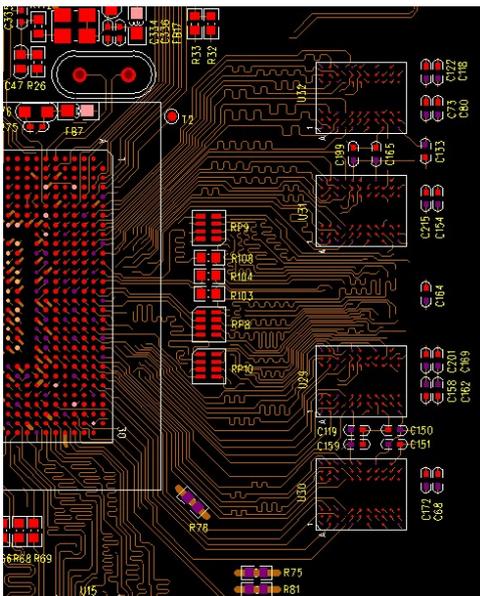
推荐:B/C,A和D只适用于单面贴器件的情况

# 随机存储器-动态RAM DDR

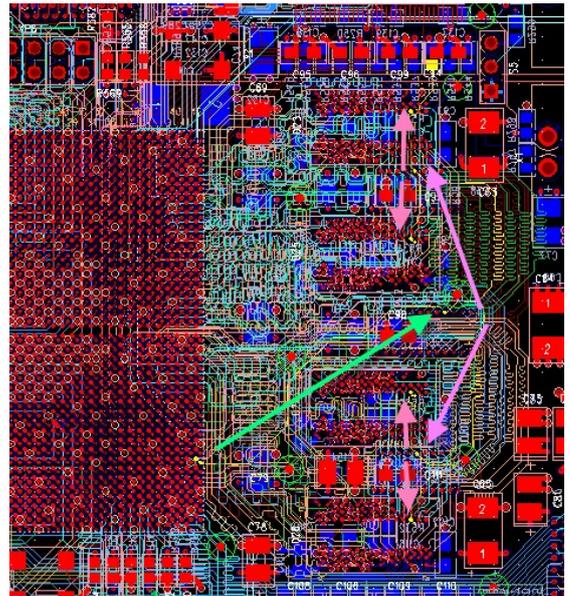


## DDRx4片的等长布线

A型



B型

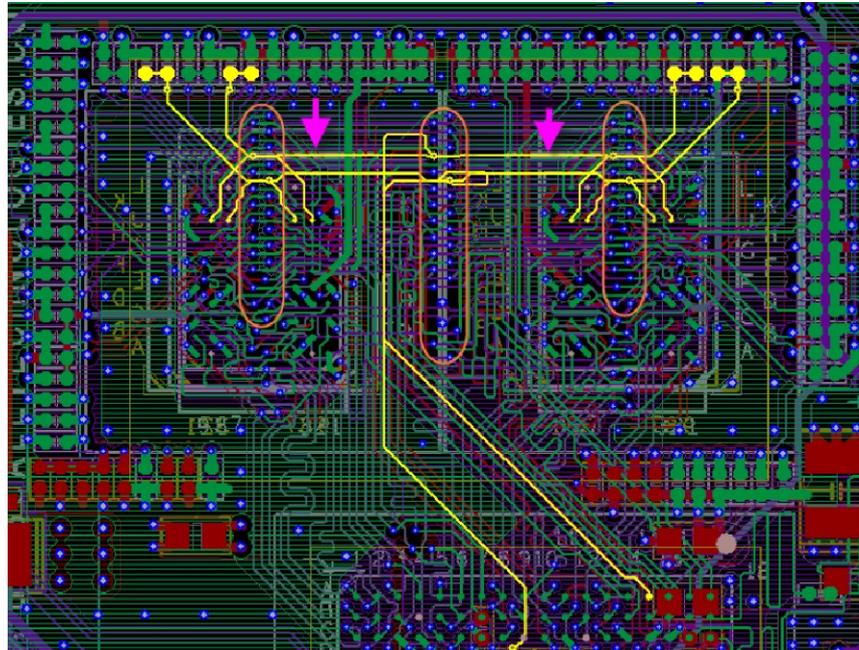


# 随机存储器-动态RAM DDR



➤ DDRx4片的等长布线

C型

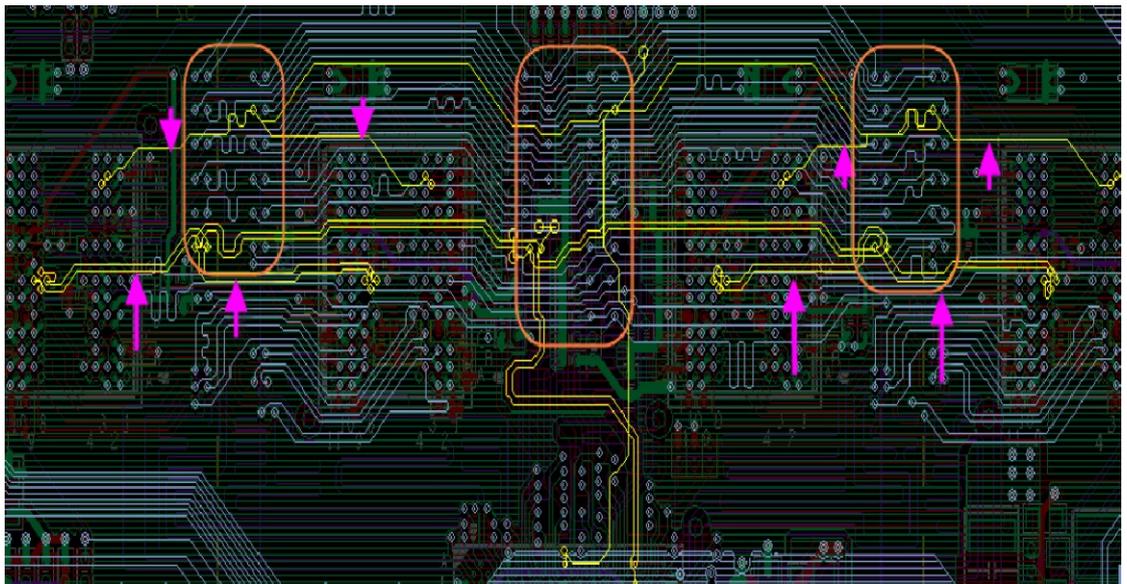


# 随机存储器-动态RAM DDR



➤ DDRx4片的等长布线

D型



# 随机存储器-动态RAM DDR



## ➤DDR的时序设计

➤DDR(采用树形或者星型拓扑)

DQSL/DQ SH	严格等长设计，误差控制在 ± 25mil		尽量控制等长
DQ0~DQ16			
DQML/DQ MH			
CLK/CLK#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
A0~A11	等长设计，控制在 ± 100mil		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

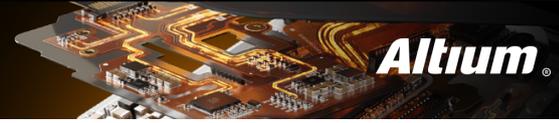
# 随机存储器-动态RAM DDR2



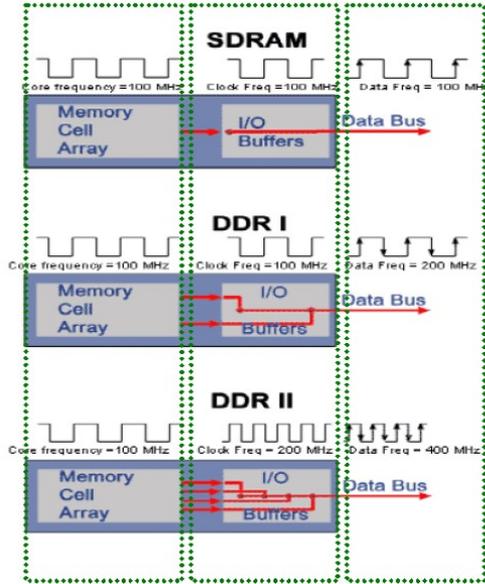
## ➤DDR VS DDR2

Memory Type	DDR	DDR2
Core Voltage(VDD)	2.5V	1.8V
I/O Voltage (VDDQ)	SSTL_2(2.5V)	SSTL_1.8(1.8)
Data Rate	200/266/333/400Mbps	400/533/667/800Mbps
Bus Frequency	100/133/166/200MHz	200/266/333/400MHz
Core Frequency	100/133/166/200MHz	100/133/166/200MHz
Pre-fetch	2-bit	4-bit
Burst Length	2/4/8	4/8
Data Strobe	Single DQS	Differential DQS, /DQS
Write Latency	1 clock	(Read Latency-1) clock
CAS Latency	1.5, 2, 2.5	3, 4, 5
Package	x4/x8/x16: 66-pin TSOP(II) x4/x8/x16: 60-ball FBGA	x4/x8: 60 ball FBGA x16: 84 ball FBGA
New Features		OCD ODT Posted CAS

# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR VS DDR2



Item	DDR2 SDRAM	DDR SDRAM	SDR SDRAM
Prefetch	4 bit	2 bit	1 bit
Internal bus operating frequency	100MHz	100MHz	100MHz
External clock frequency	200MHz	100MHz	100MHz
Data bus speed	400Mbps	200Mbps	100Mbps

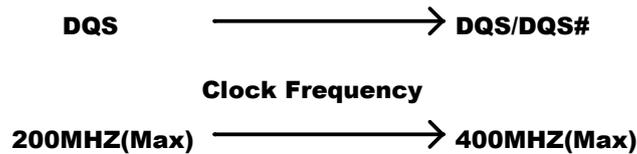
# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的设计

### ➤ DDR新特性:

DDR2可以看做DDR的升级，由于DDR的内部设计使得I/O口的速率最高只能达到200Mhz,而DDR2最高可以提高到400Mhz，也就是DDR2比DDR提高了一倍的速率。在信号管脚上变化的主要是将单端的DQS信号变成了差分的DQS和DQS#。

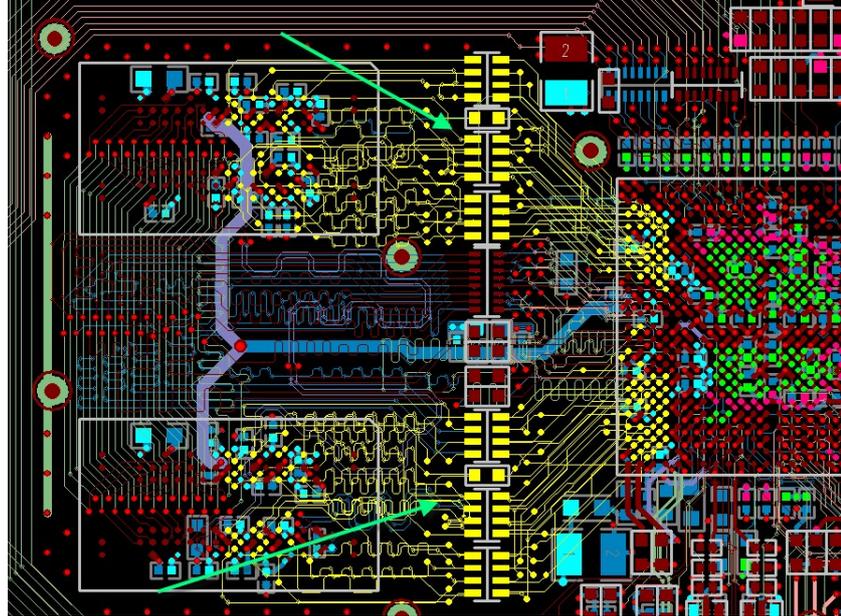


# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的布局

➤ 布局思路同DDR



# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2数据匹配电阻的布局

➤ 数据匹配电阻应靠近DDR. 布线也会容易些。  
(数据线是双向传输的，有的核心不一定有ODT功能. 如有ODT功能匹配电阻放那边都没有问题, 当核心没有ODT功能匹配电阻靠CPU就有问题, 所以综合考虑匹配电阻应靠DDR放置)

Figure 8-11 shows the topology and routing for the DQS and DQ net classes; the routes are point to point. Skew matching across bytes is not needed nor recommended.

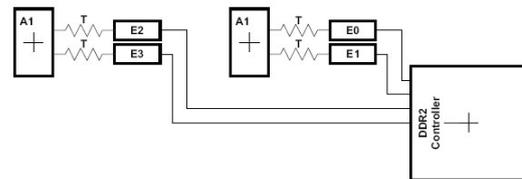
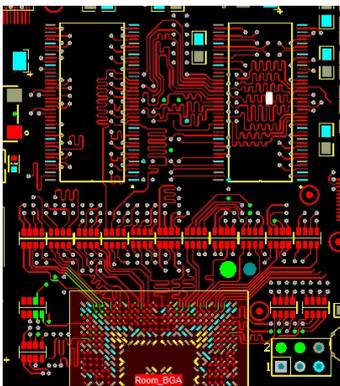


Figure 8-11. DQS and DQ Routing and Topology



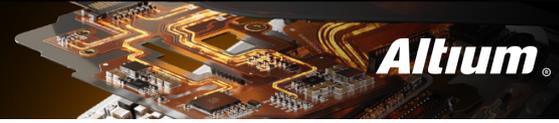
左图SDRAM的数据线排阻应近SDRAM直接接上可以减少过孔。

Table 8-12. DQS and DQ Routing Specification

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	Center-to-center DQS-DQSn spacing in E0/E1/E2/E3			2w	
2	DQS-DQSn skew in E0/E1/E2/E3			25	Mils
3	Center-to-center DQS to other DDR2 trace spacing <sup>(1)</sup>	4w			
4	DQS/DQ nominal trace length <sup>(2)(3)(4)</sup>	DQLM-50	DQLM	DQLM+50	Mils
5	DQ-to-DQS skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils
6	DQ-to-DQ skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils
7	DQ-to-DQ/DQS via count mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			1	Vias
8	Center-to-center DQ to other DDR2 trace spacing <sup>(1)(5)</sup>	4w			
9	Center-to-center DQ to other DQ trace spacing <sup>(1)(6)(7)</sup>	3w			
10	DQ/DQS E skew length mismatch <sup>(2)(3)(4)</sup>			100	Mils

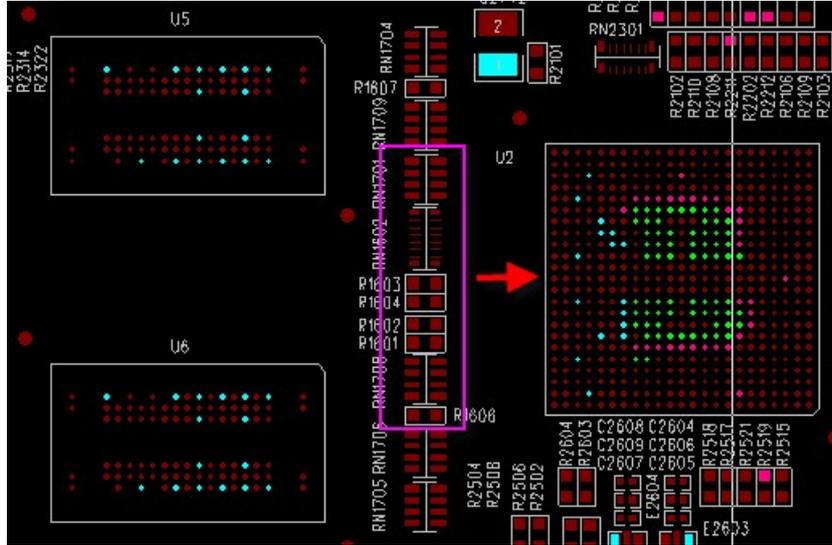
(1) Center-to-center spacing is allowed to fall to minimum (w) for up to 500 mils of routed length to accommodate BGA escape and routing congestion.  
 (2) A 18-bit DDR memory system has two sets of data net classes; one for data byte 0, and one for data byte 1, each with an associated DQS (2 DQs) per DDR EMIF used.  
 (3) A 32-bit DDR memory system has four sets of data net classes; one each for data bytes 0 through 3, and each associated with a DQS (4 DQs) per DDR EMIF used.  
 (4) There is no need, and it is not recommended, to skew match across data bytes; i.e., from DQS0 and data byte 0 to DQS1 and data byte 1.  
 (5) DQs from other DQS domains are considered other DDR2 trace.  
 (6) DQs from other data bytes are considered other DDR2 trace.  
 (7) DQLM is the longest Manhattan distance of each of the DQS and DQ net classes.

# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2地址线匹配电阻的布局

➤ DDR2地址线匹配电阻位置应靠近核芯



# 随机存储器-动态RAM DDR2



## ➤ DDR2的布线

➤ 特性阻抗:单端50欧,差分100欧

➤ 数据线每11根尽量走在同一层

(D0~D7, DQM0,DQS0\_N,DQS0\_P)

(D8~D15, DQM1,DQS1\_N,DQS1\_P)

(D16~D23,DQM2,DQS2\_N,DQS2\_P)

(D24~D31,DQM3,DQS3\_N,DQS3\_P)

➤ 信号线的间距满足3W原则

➤ 数据线、地址（控制）线、时钟线之间的距离保持20mil以上或至少3W

➤ 完整的参考平面

➤ VREF电源走线推荐>=20~30mil

DDR2x1片

DDR2x2片

❖ 误差范围:  
差分对误差严格控制在5mil  
数据线误差范围控制在+/- 15mil  
地址线误差范围控制在+/- 100mil

## 随机存储器-动态RAM DDR2



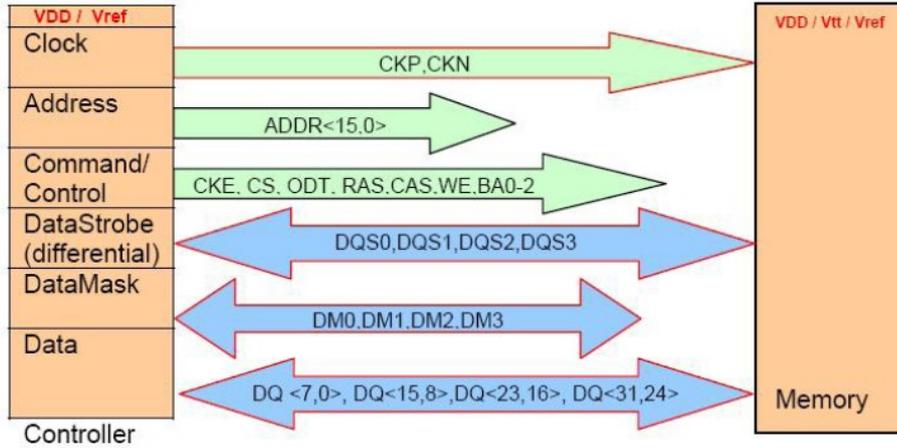
### ➤ DDR2的布线

- DQGATE组分为低16位和高16位

$$DQGATE\_L = DDRCLKOUTP + (DDRQDS0P + DDRQDS1P) / 2$$

- 布线拓扑：布线长度误差控制在100mil

$$DQGATE\_H = DDRCLKOUTP + (DDRQDS2P + DDRQDS3P) / 2$$



## 随机存储器-动态RAM DDR2



### DDR2 (采用树形或者星型拓扑)

### ➤ DDR2芯片时序设计

DQSH/DQSH#	严格差分等长设计	严格等长设计, 控制在 ± 15mil	尽量控制等长
DQSL/DQSL#	严格差分等长设计		
DQ0~DQ16	严格等长设计, 控制在 ± 15mil	尽量控制等长	
DQML/DQML#			
CLK/CLK#	严格差分等长设计	尽量控制等长	
A0~A11	等长设计, 控制在 ± 100mil		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

## 随机存储器-动态RAM DDR3



### ➤ DDR3的设计

#### ➤ DDR3的新特性

DDR3和DDR2在信号定义上基本上是一样的，信号定义上变化很小，大家可以看到有些芯片上会出现两根新的信号TDQS/TDQS#，它只是在8位RAM上会使用到，4位和16位的RAM不会用到他们，所以我们这里不特别阐述，我们可以简单的把它看做单向传输的DQS信号(RAM->Controller)，将其和DQS/DQS#,DATA, DM归为一组即可。

## 随机存储器-动态RAM DDR3



### ➤ DDR3与DDR2的比较

Technology	DDR2	DDR3
Max Clock Freq. (MHz)/Data rate(Mbps)	533/1066	800/1600
Power Requirement		
VDD (Volts)	1.8 +/- 0.1	1.5 +/- 0.075
Vtt (Volts)	0.9 +/- 0.04	0.75 +/- TBD
Vref (Volts)	0.9 +/- 0.018	0.75 +/- 0.015
Input Thresholds		
Vih/Vil (Volts)	0.9 +/- 0.2	0.75 +/- 0.175
Delay Matching Requirement		
Match ADDR/CMD/CNTRL to Clock tightly	Yes	Yes
Match DQ<7,0>, DM0 to DQS0 tightly	Yes	Yes
Match DQ<15,8>, DM1 to DQS1 tightly	Yes	Yes
Match DQ<22,16>, DM2 to DQS2 tightly	Yes	Yes
Match DQ<31,23>, DM3 to DQS3 tightly	Yes	Yes
Match DQS0-3 to Clock loosely	Yes	Not required

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ► DDR3与DDR、DDR2的比较

	DDR	DDR2	DDR3
时钟频率	100/133/166/200MHz	200/266/333/400MHz	400/533/667/800MHz
数据传输速率	200/266/333/400Mbps	400/533/667/800Mbps	800/1066/1333/1600Mbps
输入/输出位宽	x4/x8/x16/x32	x4/x8/x16	x4/x8/x16
预取宽度	2位	4位	8位
突发长度	2, 4, 8	4, 8	8
数据选通 (DQS)	单线	单线/差分	差分
电源电压	2.5V±0.2V	1.8V±0.1V	1.5V±0.075V
接口类型	SSTL_25	SSTL_18	SSTL_15
CAS延迟 (CL)	2, 2.5, 3时钟频率	3, 4, 5时钟频率	5, 6, 7, 8, 9, 10时钟频率
片内终结器 (ODT)	不支持	支持	支持
封装类型	66pin TSOP2 60pin BGA	60pin BGA (x4, x8) 84pin BGA (x16)	78pin BGA (x4, x8) 96pin BGA (x16)
Write Leveling	不支持	不支持	支持

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ► DDR3的等长

### ► 地址线长度要求

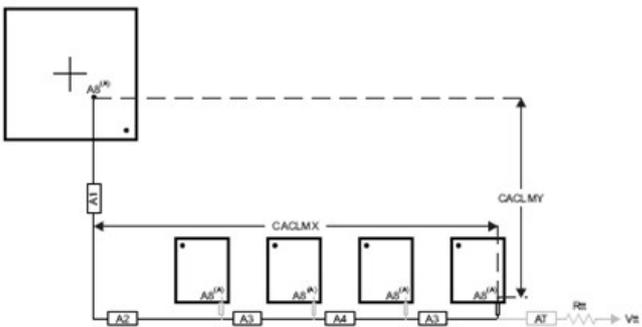


Table 8-24. CK and ADDR\_CTRL Routing Specification<sup>(1)(2)</sup>

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	A1+A2 length			2500	mil
2	A1+A2 skew			25	mil
3	A3 length			600	mil
4	A3 skew <sup>(3)</sup>			25	mil
5	A3 skew <sup>(4)</sup>			125	mil
6	A4 length			600	mil
7	A4 skew			25	mil
8	A5 length			100	mil
9	A5 skew			100	mil
10	AS+/AS- length			70	mil
11	AS+/AS- skew			5	mil
12	AT length <sup>(5)</sup>		600		mil
13	AT skew <sup>(6)</sup>		100		mil
14	AT skew <sup>(7)</sup>			5	mil
15	CK/ADDR_CTRL nominal trace length <sup>(8)</sup>	CACLW-50	CACLW	CACLW+50	mil

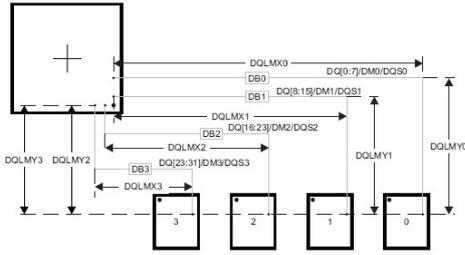
# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3的等长

### ➤ 数据线长度要求

DDR3数据线以  
DQS为基准25mil



DB0 - DB3 represent data bytes 0 - 3.  
There are four DQLMs, one for each byte (32-bit interface). Each DQLM is the longest Manhattan distance of the byte; therefore:  
 $DQLM0 = DQLMX0 + DQLMY0$   
 $DQLM1 = DQLMX1 + DQLMY1$   
 $DQLM2 = DQLMX2 + DQLMY2$   
 $DQLM3 = DQLMX3 + DQLMY3$

Table 8-25. Data Routing Specification<sup>(1)</sup>

NO.	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
1	DB0 nominal length <sup>(2)(3)</sup>			DQLM0	mil
2	DB1 nominal length <sup>(2)(4)</sup>			DQLM1	mil
3	DB2 nominal length <sup>(2)(5)</sup>			DQLM2	mil
4	DB3 nominal length <sup>(2)(6)</sup>			DQLM3	mil
5	DBn skew <sup>(7)</sup>			25	mil
6	DQSn+ to DQSn- skew			5	mil
7	DQSn to DBn skew <sup>(7)(8)</sup>			25	mil
8	Center-to-center DBn to other DDR3 trace spacing <sup>(9)(10)</sup>		4w		
9	Center-to-center DBn to other DBn trace spacing <sup>(9)(11)</sup>		3w		
10	DQSn center-to-center spacing <sup>(12)</sup>				
11	DQSn center-to-center spacing to other net <sup>(9)</sup>		4w		

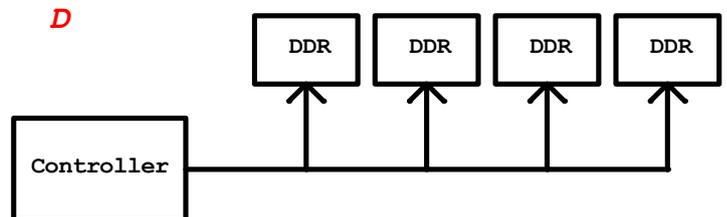
(1) External termination disallowed. Data termination should use built-in ODT functionality.  
 (2) DQLMn is the longest Manhattan distance of a byte. For definition, see Section 8.3.2.16.2 and Figure 8-39.  
 (3) DQLM0 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 0.  
 (4) DQLM1 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 1.  
 (5) DQLM2 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 2.  
 (6) DQLM3 is the longest Manhattan length for the net classes of Byte 3.  
 (7) Length matching is only done within a byte. Length matching across bytes is neither required nor recommended.  
 (8) Each DQS pair is length matched to its associated byte.  
 (9) Center-to-center spacing is allowed to fall to minimum for up to 1250 mils of routed length.  
 (10) Other DDR3 trace spacing means other DDR3 net classes not within the byte.  
 (11) This applies to spacing within the net classes of a byte.  
 (12) DQS pair spacing is set to ensure proper differential impedance.]

# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3的拓扑结构

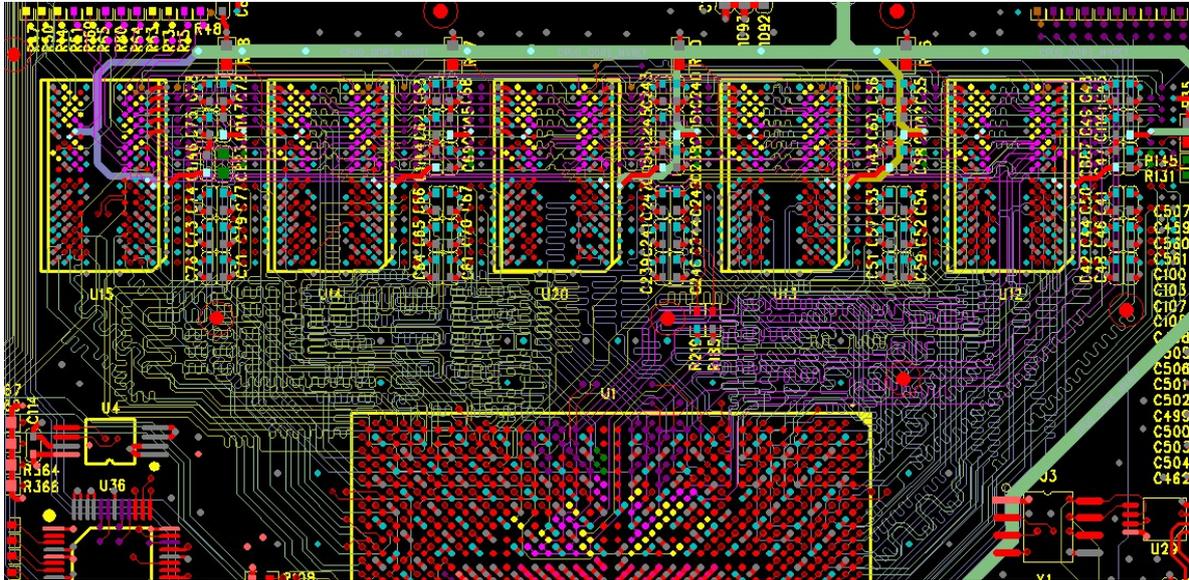
DDR3的地址拓扑和DDR2, DDR一样, 只是由于其速率更高(最高可达到1.6Gbps), 所以除了时序, 信号完整性也成了我们需要关注的要点, 前文提到的在多片DDR设计时采用的4种拓扑, 我们在进行DDR3设计, 尤其是当速率跑到1.6Gbps时, 通过仿真我们发现4种拓扑中只有D, 即菊花链拓扑满足信号完整性要求, 但是这里并不是说其他3种拓扑不适用, 只是在满足时序要求的情况下, D型拓扑能最好的达到信号完整性的要求。



# 随机存储器-动态RAM DDR3



## DDR3的拓扑结构

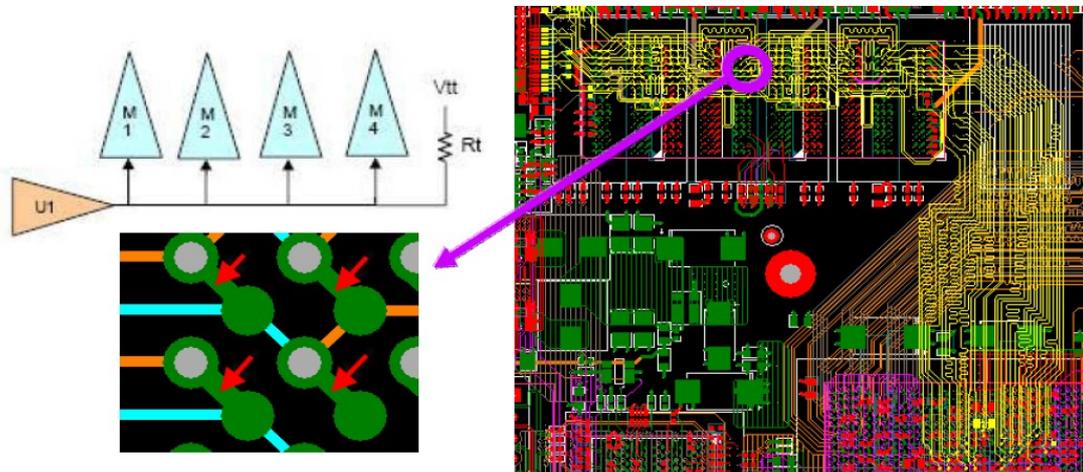


# 随机存储器-动态RAM DDR3



## DDR3的布局布线实例

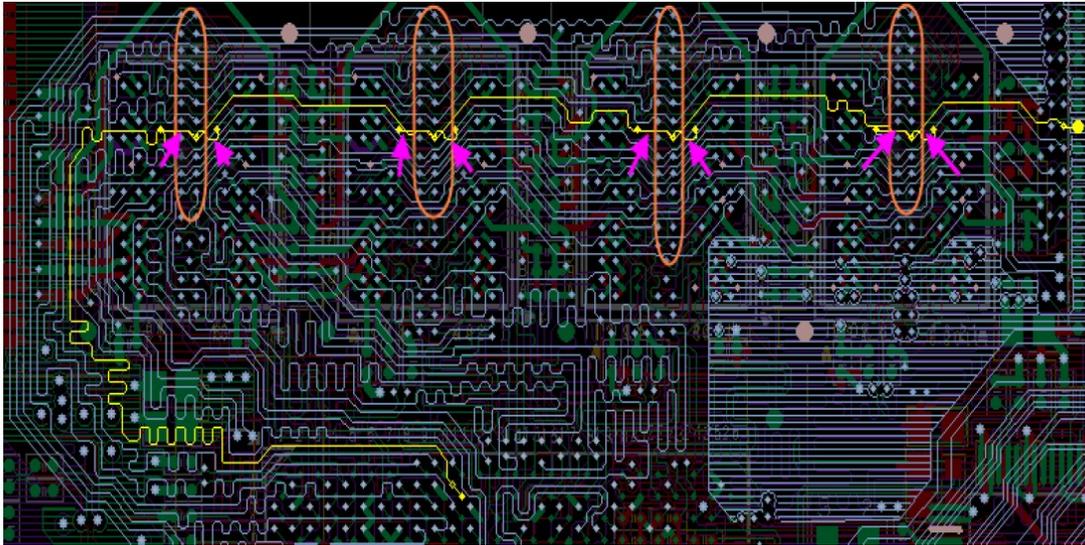
- 地址线布局布线要求优选F ly-By, 过孔到管脚长度尽量短, 长度在150mil左右



# 随机存储器-动态RAM DDR3



- DDR3的布局布线实例
  - 8颗DDR3正反对贴布线示例



# 随机存储器-动态RAM DDR3



## ➤ DDR3芯片设计总结

➤ DDR3(采用树形或菊花链拓扑)

TDQS/TDQS#(8位RAM专用)	严格差分等长设计	严格等长设计, 控制在 ±10mil	尽量控制等长
DQSH/DQSH#	严格差分等长设计		
DQSL/DQSL#	严格差分等长设计		
DQ0~DQ16	严格等长设计, 控制在 ±10mil	尽量控制等长	
DQML/DQMH			
CLK/CLK#	严格差分等长设计		
A0~A11	尽量控制等长, 控制在 ±100mil如果是菊花链拓扑则走线越短越好		
WE/CAS/RAS			
BA0/BA1			
CS#			
CKE			

## 随机存储器-动态RAM DDR4



### DDR4新特点:

- 一. 8位预读取, 外部时钟频率是内部时钟频率的八倍, 数据传输率最高可达3.2Gbps;
- 二. 内核电压仅为1.2V;

### 布局布线要求基本同DDR3;

### 等长要求(推荐以Layout Guide为准、以仿真结果为准):

- 一. 数据线最大长度尽量不超过2500mil, 组内长度误差范围控制在 $\pm 5\text{mil}$ , 得益于Write Leveling技术, DQS与时钟线一般无长度误差要求, 注意尽量查阅Layout Guide或datasheet, 部分芯片会有组间、以及DQS与时钟线的等长要求;
- 二. 地址线误差范围控制在 $\pm 20\text{mil}$ ;
- 三. DQS、时钟差分对内误差范围控制在 $\pm 3\text{mil}$ , 设计阻抗时, 使本对内间距不超过2倍线宽;

## 随机存储器-动态RAM RDRAM



➤ RDRAM是由Rambus公司推出的一种采用双沿触发技术的内存, 有16/18bit (ECC) 两种规格, 能在很高的频率范围内通过一个简单的总线传输数据

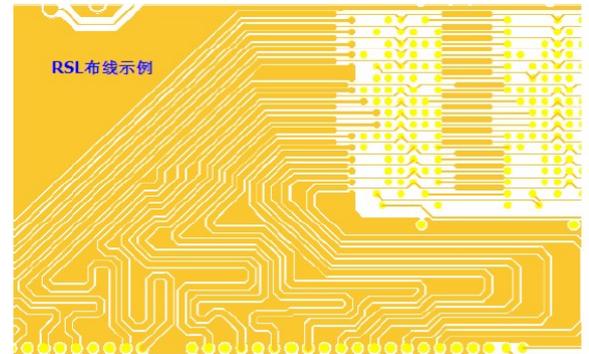
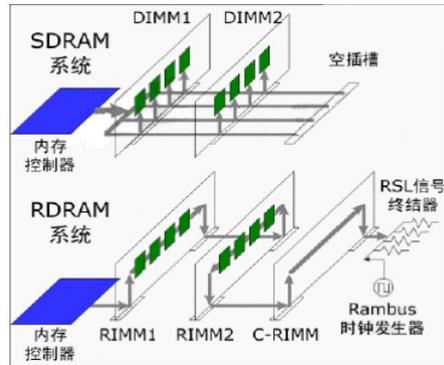
### ➤ 功能管脚说明

信号名	类型	电平	功能描述
DQA (8: 0)	I/O	RSL	数据字节 A。在通道与 RDRAM 器件间进行一个字节的信号传递。在 x16 的系统中 DQA (8) 将不使用。
DQB (8: 0)	I/O	RSL	数据字节 B。在通道与 RDRAM 器件间进行一个字节的信号传递。在 x16 的系统中 DQB (8) 将不使用。
RQ (7: 5) 或 ROW (2: 0)	Input	RSL	行访问控制。传递行访问的控制与地址信号。
RQ (4: 0) 或 COL (4: 0)	Input	RSL	行访问控制。传递行访问的控制与地址信号。
CFM, CFMN	Input	RSL	Clock From Master。从通道中接收 RSL 信号的差分接口时钟。
CTM, CTM#	Input	RSL	Clock To Master。发送 RSL 信号到通道的差分接口时钟。
CMD	Input	CMOS	串行命令输入。与 S100 和 S101 一起用于读写控制寄存器, 也用于电源管理。
SCK	Input	CMOS	串行时钟输入。用于读写 RDRAM 控制寄存器的时钟源。
SI01, SI00	I/O	CMOS	串行输入输出。通过串行协议读写控制寄存器, 也用于电源管理。
Vref		DC	RSL 信号的逻辑门限参考电压。
Vcmos		DC	CMOS 输入输出管脚的电源电压。
Vdda		DC	RDRAM 模拟电路的电源电压。
Vdd		DC	RDRAM 内核与接口逻辑的电源电压。
GNDa		DC	RDRAM 模拟电路的地参考。
GND		DC	RDRAM 内核与接口逻辑的地参考。

## 随机存储器-动态RAM RDRAM



### ➤ RDRAM与 SDRAM架构 比较



特点:

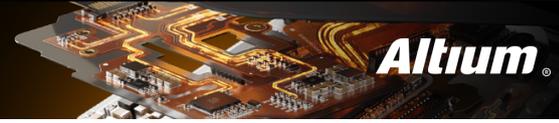
- 1.信号线数目较少，所有信号均为串联接法;
- 2.工作频率极高，所有RSL电平信号都要包地，并以地平面为参考;
- 3.DQ、RQ、和CTM、SCK、CMD等信号的走线长度在分段过程中每一段的长度都必须匹配，匹配的计算不仅包括走线，还包括管脚长度，误差控制在 $\pm 10\mu\text{m}$ 以内;

## Agenda

- 1 常用存储器分类
- 2 只读存储器ROM
- 3 随机存储器-动态RAM
- 4 随机存储器-静态RAM



# 随机存储器-静态RAM SRAM



## ➤ SRAM的特点

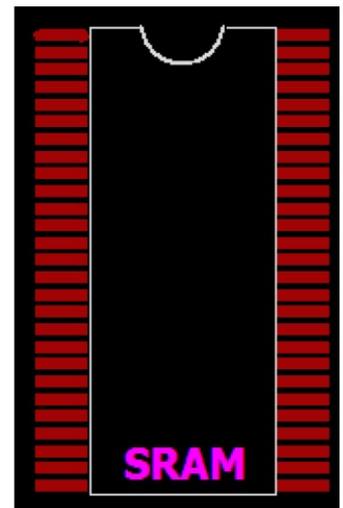
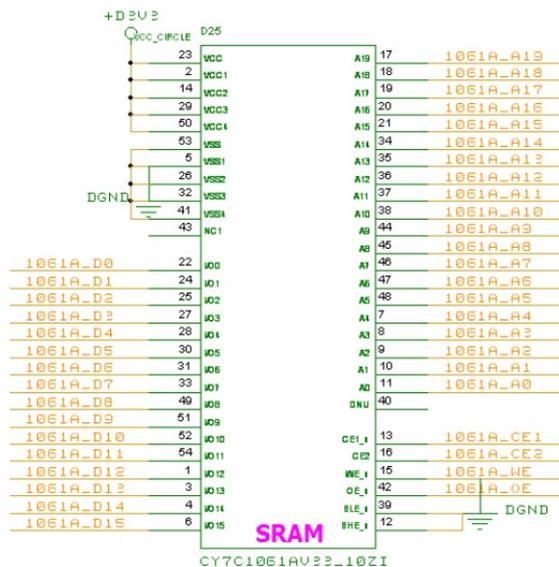
- SRAM是Static RAM缩写，即静态随机存储器，它是一种具有静止存取功能的内存，不需要刷新电路就能保持内部存储数据的有效性，但断电后，数据仍然会丢失
- SRAM存取速度快，但比相同容量的DRAM体积大，功耗也大，因此目前单片SRAM容量一般都是几百K到几十M

# 随机存储器-静态RAM SRAM



## ➤ SRAM的特点

- 右图为SRAM,目前SRAM运用较为广泛的是QDR SRAM系列

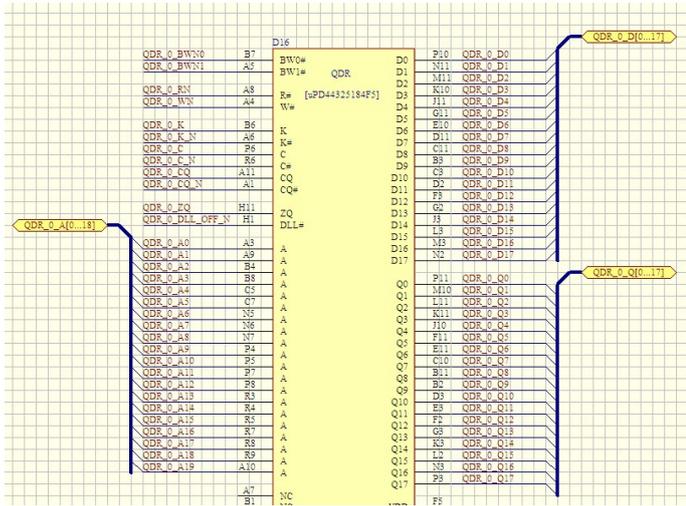


# 随机存储器-静态RAM QDR



## QDR的设计

QDR的新特性: 可在一个时钟周期内传送四次数据 (两次读与两次写数据)



信号名。	功能描述。
K, K#。	输入时钟。
C, C#。	用于输出数据的输入时钟。
SA。	地址信号输入。
D0-17 (35)。	数据信号输入。
Q0-17 (35)。	数据信号输出。
W#。	写操作控制信号。
R#。	读操作控制信号。
BW0#- BW 1 (3) #。	字节写控制信号。
Vref。	输入参考电平。
ZQ。	输出驱动器阻抗控制端。
VDD。	电源电压 (2.5V)。
VDDQ。	输出 IO 电源电压 (1.5V 或 1.8V)。
VSS。	地管脚。
TMS, TCK, TDI, TDO。	JTAG 测试模式控制管脚。

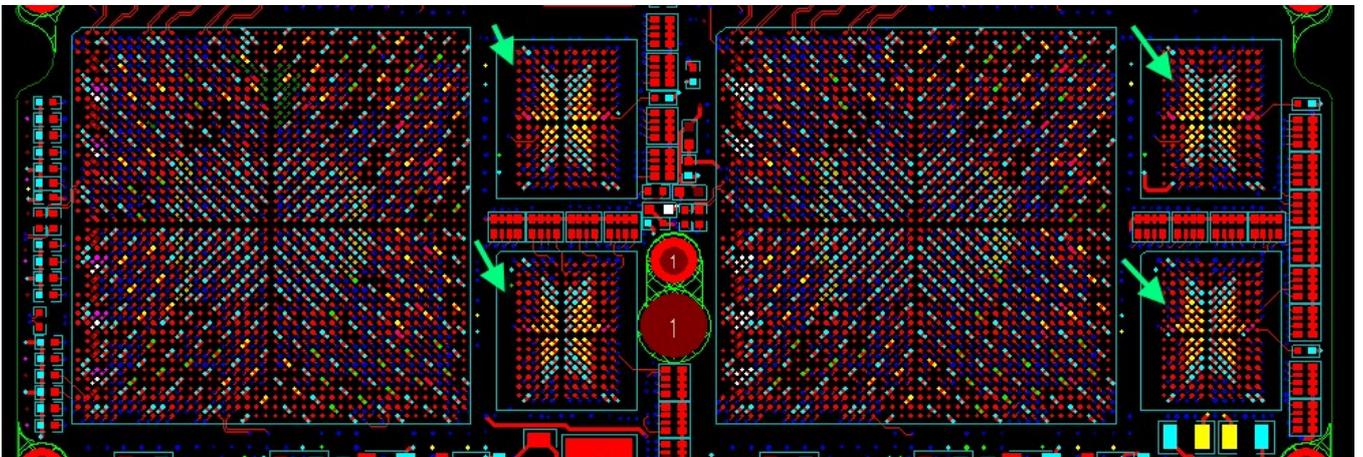
# 随机存储器-静态RAM QDR



## QDR的布局

布局与DDR类似

A型



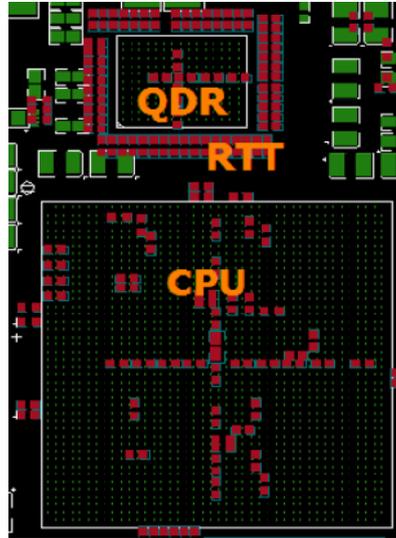
随机存储器-静态RAM QDR



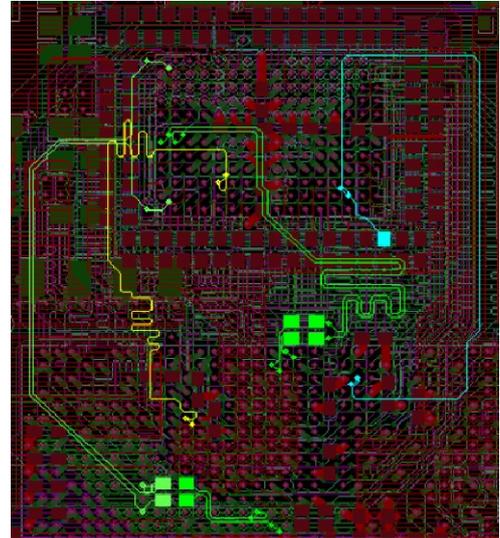
QDR的布局

布局与DDR类似

B型



C型



随机存储器-静态RAM QDR



QDR的时序设计

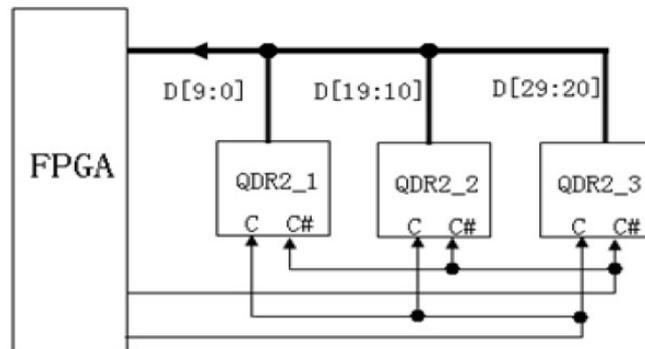
7	QDR信号数据信号	QDR_0_D0-17 QDR_0_Q0-17	组内信号误差25mil正负
8	QDR信号时钟信号	QDR_0_K QDR_0_K_N QDR_0_C QDR_0_C_N QDR_0_CQ QDR_0_CQ_N	时钟差分误差小于10mil 不同差分对尽量等长
9	QDR地址命令控制信号	QDR_0_A0-18 QDR_0_BWN0 QDR_0_BWN1 QDR_0_RN QDR_0_WN QDR_0_ZQ QDR_0_DLL_OFF_N	尽量等长

## 随机存储器-静态RAM QDR



QDR2 SRAM规范中要求K/K#时钟和C/C#时钟的偏移必须大于0，因为QDR的同时读写特点，假设在同一时钟周期内，要对同一个地址的数据进行读操作和写操作，规范要求是，要先进行写操作，后进行读操作，也就是写参考时钟K/K#需要比读参考时钟C/C#先到达。但是，规范中同时规定，C/C#时钟与K/K#时钟之间的skew必须小于三分之一时钟周期。

因此如果将多片QDR2 SRAM器件并联使用的并且有C/C#时钟的话，需要注意C/C#时钟的PCB走线方式，即C/C#时钟须先到达最远端的QDR器件，最后到达最近处的QDR器件，这样，参考时钟信号的延迟正好可以抵消数据信号的延迟，确保几个器件上的数据保持同步，如下图所示。



## 随机存储器-静态RAM QDR



QDR2等长要求(推荐以Layout Guide为准、以仿真结果为准):

- 一. 输入时钟K/K#和写数据信号D[17:0]设为一个组等长，组内误差+/-25mil;
- 二. 输出时钟CQ/CQ#和读数据信号Q[17:0]设为一个组等长，组内误差+/-25mil;
- 三. 其他地址信号和控制信号设为一个组等长，组内误差+/-50mil，同时与系统时钟K/K# 误差+/-100mil，与数据组误差+/-100mil;
- 四. 差分线组内误差+/-5mil;

其实由上述规则可以看出，读、写数据和地址、控制信号，以及输入输出时钟是存在时序关系的，因此，在等长设定时可将左右信号设成一个组等长，误差设为+/-25mil;

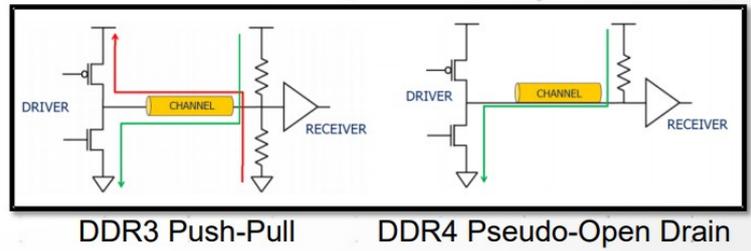
# DDR4



Specification	DDR2	DDR3	DDR4
Voltage	1.8 V	1.5 / 1.35 V	1.2 V
Per Pin Data Rate (Mbps)	400-1066	800-2133	1600-3200
Channel Bandwidth (GBps)	3.2-8.5	6.4-17	12.8-25.6
Component Density	512 MB–2 GB	1-8 GB	2-16 GB

- Lower VDD voltage and Pseudo-Open Drain (POD) reduces power consumption by 40%
- Internal VREF training performed within the IC receiver, to optimize VREF level. Retraining at regular intervals.
- Data lines are calibrated at the IC, to reduce their skew to the strobe.
- Data bus inversion (DBI)

Image Source: Micron Technology



DDR3 Push-Pull

DDR4 Pseudo-Open Drain

# DDR4



## DDR4 High Speed => Less Timing Margin

### Shrinking Timing Margins in Picoseconds

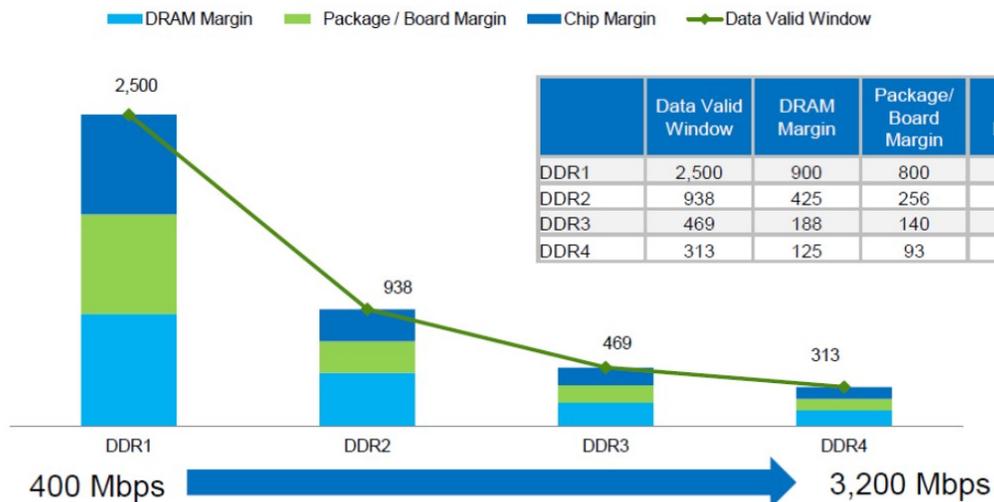


Image Source: Altera

## DDR4



DDRx SDRAM参数						
	DDR	DDR2	LPDDR2	DDR3	LPDDR3	DDR4
速率(Mbps)	200 ~ 400	400 ~800	333 ~ 1066	800 ~ 2133	1333 ~ 2133	1600~3200 (SE) ~6400 (Diff)
VDDQ(V)	2.5	1.8	1.2	1.5	1.2	1.2
电平接口	SSTL_2	SSTL_18	HSUL_12	SSTL_15	HSUL_12	POD12
选通信号	单端	可选单端/差分	差分	差分	差分	差分
ODT	无	有	无	有	可选	有
Slew RateDerating	有	有	有	有	有	无
WriteLeveling	无	无	无	有	有	有
DBI	无	无	无	无	无	有

## DDR4



### DDR3 新功能

- DDR3新增的重置(Reset)功能
- DDR3新增ZO校准功能
- 突发长度(Burst Length, BL), 由于DDR3的预取为8bit, 所以突发传输周期(Burst Length, BL)也固定为8
- 寻址时序(Timing)变化
- 参考电压分成两个VREF将分为两个信号, 即为命令与地址信号服务的VREFCA和为数据总线服务的REFDQ, 这将有效地提高系统数据总线的信噪等级

## DDR4



### DDR4 新功能

- 新的JEDEC POD12接口标准（工作电压1.2V）；
- DBI：可以降低功耗并且提升数据信号完整性；
- Bank群组结构：是个8n预取群组结构，它可以使用两个或者四个Bank组，这允许DDR4内存在每个Bank群组单独被激活、读取、写入或刷新操作，这样可以带来更高的内存速度和带宽；
- 取消了Derating，时序仿真计算不再繁琐；
- DQ动态确定Vref（V\_center），增加了眼图要求；
- 新的终止调度：在DDR4中DQ bus可以转移终止到VDDQ，这样即使VDD电压降低的情况下也能保证稳定；
- 新的数据总线CRC技术，可以进行传输过程中的错误侦测，特别对非ECC内存进行写入操作时有帮助；
- 针对命令和地址总线的新的CA奇偶校验；
- 突发长度和突发停止长度分别为8和4；
- 正常和动态的ODT:改进ODT协议，并且采用新的Park Mode模式可以允许正常终结和动态吸入终结，而不需要去驱动ODT Pin；
- \*Differential Signaling（差分信号技术）

## DDR4 vs DDR3



特点	DDR3	DDR4	备注
信令变化			
电压(内核和I/O)	1.5V	1.2V	降低能耗
低压标准	是(DDR3L@ 1.35V)	预计(DDR4L, 可能1.05V)	内存能耗下降
数据速率(MT/s)	800, 1066, 1333, 1600, 1866, 2133	1600, 1867, 2133, 2400, 2667, 3200	演进到更高速度
密度	512Mb - 8Gb	2Gb -16Gb	满足更高容量的内存需求
DBI	无	有	更低功耗和更好的信号完整性
DQ驱动器(ALT)	40欧姆	48欧姆	为点到点应用优化
DQ总线	SSTL 15	POD 12	降低I/O噪声和能耗
RTT值	120, 60, 40, 30, 20	240, 120, 80, 60, 48, 40, 34	支持更高的数据速率
堆叠引脚	否	是	适用于未来的更高密度的模块

## DDR4 Skew/等长



	DDR3	DDR4
Source-Synchronous Signal	同组DQ/ECC与对应DQS等长保持在100mil内	同组DQ/ECC与对应DQS等长保持在50mil内
	DQS 差分线对内等长保持在5mil内	DQS 差分线对内等长保持在5mil内
	同组DQ/ECC等长保持在30mil内	同组DQ/ECC等长保持在10mil内
	同组信号严格要求同层走线	同组信号严格要求同层走线
Clock Signal	CLK差分线对内等长保持在2mil内	CLK差分线对内等长保持在2mil内
	同一DIMM的CLK之间等长保持在20mil内	同一DIMM的CLK之间等长保持在5mil内
Source Clocked Signal(MA[15:00], BA[2:0], RA S_N, CAS_N, WE_N, MA_PAR)/BG[1:0], ACT_N, C[2]	同一个DLL组, CMD要求等长保持在500mil内所有CMD信号要求与对应时钟保持在2inch内	同一个DLL组, CMD要求等长保持在25mil内所有CMD信号要求与对应时钟保持在2inch内
Source Clocked SignalCS_N[9:0], ODT[5:0], CK E[5:0]	同一个DLL组, UDIMM CTL要求与时钟等长保持在100mil内, for RDIMM保持在240mil内	同一个DLL组, CTL要求与时钟等长保持在25mil内, for RDIMM保持在100mil内

DDR3摘自Intel Romley PDG; DDR4摘自Intel Grantley PDG

## DDR4 Crosstalk/串扰



	DDR3	DDR4
Source-Synchronous Signal	同组DQ/ECC/DQS最小间距:内层17mil(4.25H)外层19mil(7.03H)	同组DQ/ECC/DQS最小间距:内层17mil(4.25H)外层19mil(7.03H)
	组间DQ/ECC最小间距:内层32mil,外层27mil	组间DQ/ECC最小间距:内层32mil,外层27mil
	同层通道间DQ/ECC最小间距:内层40mil,外层32mil	同层通道间DQ/ECC最小间距:内层40mil,外层32mil
	DQ/ECC在DIMM Pin处间距:内层9mil,外层12mil	DQ/ECC在DIMM Pin处间距:内层17mil,外层19mil
Clock Signal	CLK差分线对内间距5mil	CLK差分线对内间距5mil
	CLK差分线与其他信号间距:内层12mil,外层13.5mil	CLK差分线与其他信号间距:内层12mil,外层13.5mil
Source Clocked Signal(MA[15:00], BA[2:0], RA S_N, CAS_N, WE_N, MA_PAR)/BG[1:0], ACT_N, C[2]	CMD信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCMD信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCMD信号在DIMM Pin处间距:内层9mil,外层12mil	CMD信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCMD信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCMD信号在DIMM Pin处间距:内层4.9mil,外层6.9mil
Source Clocked signalCS_N[9:0], ODT[5:0], CK E[5:0]	CTL信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCTL信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCTL信号在DIMM Pin处间距:内层9mil,外层12mil	CTL信号之间间距:内层12mil,外层13.5milCTL信号与DQ信号最小间距:内层32mil,外层27milCTL信号在DIMM Pin处间距:内层4.9mil,外层6.9mil

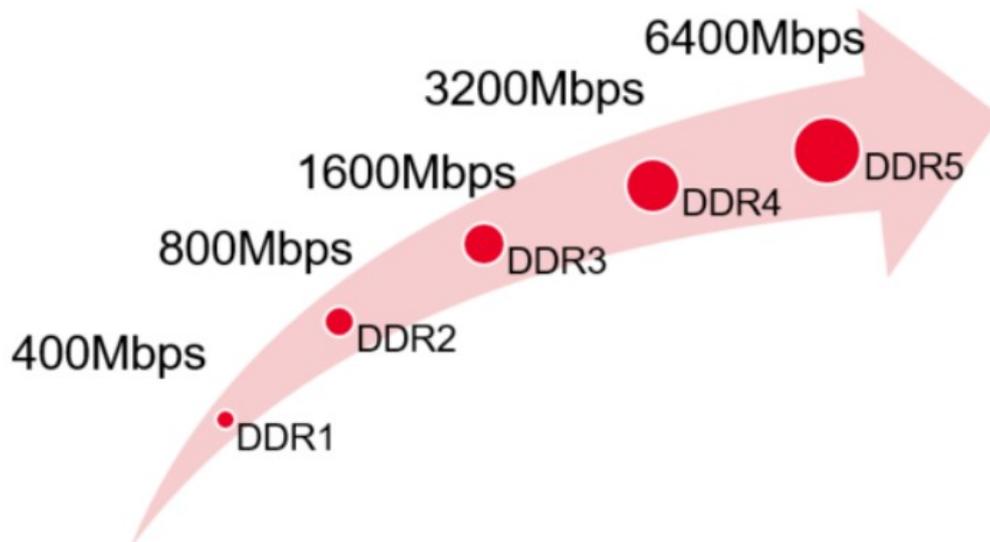
DDR3摘自Intel Romley PDG; DDR4摘自Intel Grantley PDG

## DDR5 vs DDR4

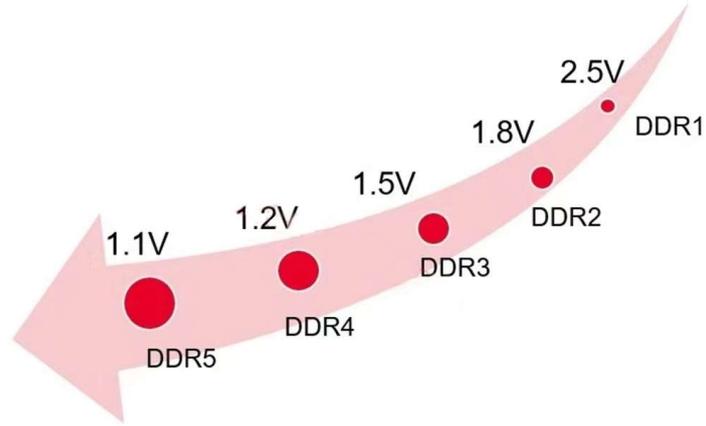


对比项目	DDR4	DDR5
速率	1.6G~3.2G	3.2G~6.4G
电压	1.2V	1.1V
均衡	无	有
ODT	DQ	DQ,CA
Prefetch	8n	16n
BL	BL8	BL16
单颗DRAM容量	16Gb	32Gb

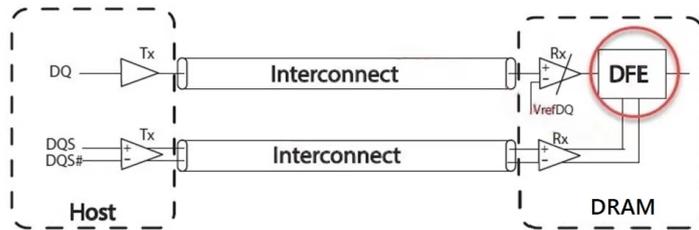
## DDR5-速率



# DDR5 - 电压



# DDR5 - 均衡



A screenshot of a software interface for configuring DFE parameters. The 'DFETaps' parameter is highlighted with a red circle. A red arrow points from this circle to a 'Memory' block in a schematic diagram on the right. The schematic shows signals CK, CA/CTRL, DQ, DQS, and DM/DBI connected to the Memory block. Below the schematic, the text 'DDR\_Memory' and 'DDR\_Memory1' is visible.

Parameter list:

- Model\_Specific
- LogicLevel
- NumberPrecursors
- DFETaps

Parameter information:

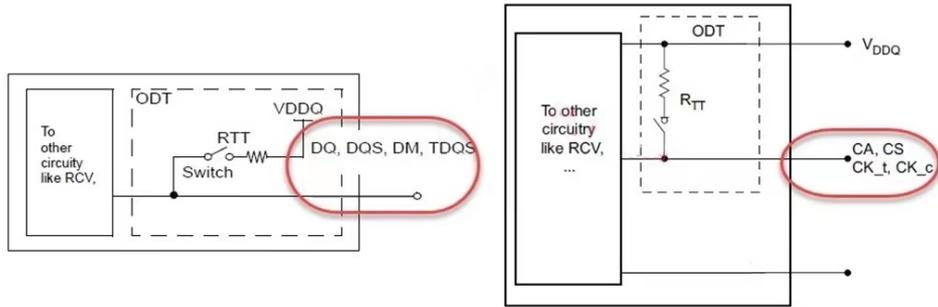
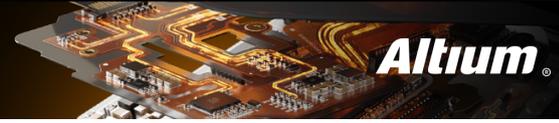
Additional Jitter:

Rx\_Dj

Rx\_Rj

Number of time points per UT:  Same as channels controller

# DDR5 - ODT

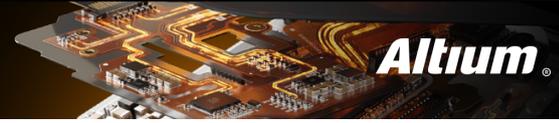


# DDR5 - 单颗容量



单颗DRAM的容量变得更大，DDR5的单颗容量可以达到32Gb。

# DDR5 - Burst length



Function	Register Type	Operand	Data	Notes
Burst Length	R/W	OP[1:0]	00 <sub>B</sub> : BL16 01 <sub>B</sub> : BC8 OTF 10 <sub>B</sub> : BL32 (Optional) 11 <sub>B</sub> : BL32 OTF (Optional)	
			00000 <sub>B</sub> : 22	

# DDR5 - Prefetch

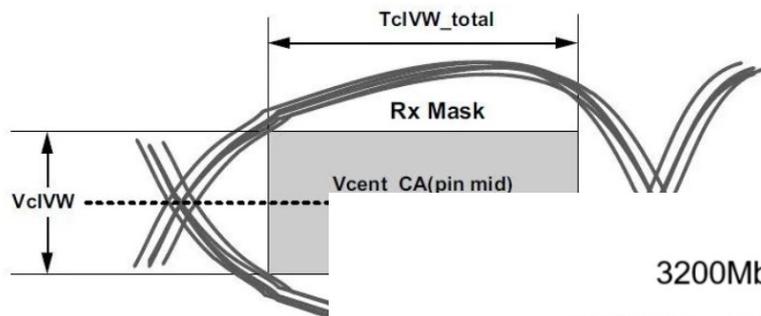
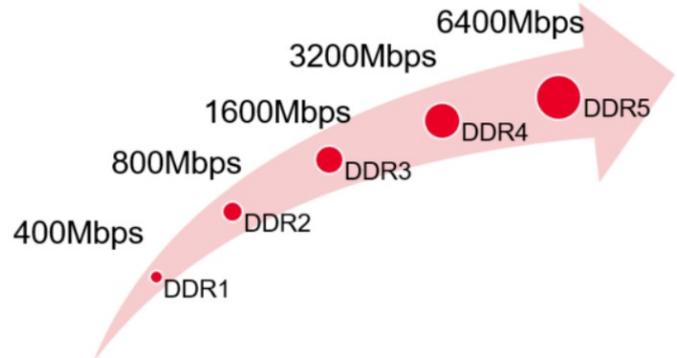
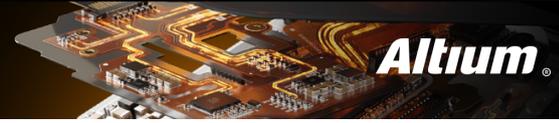


Figure 179



# DDR5



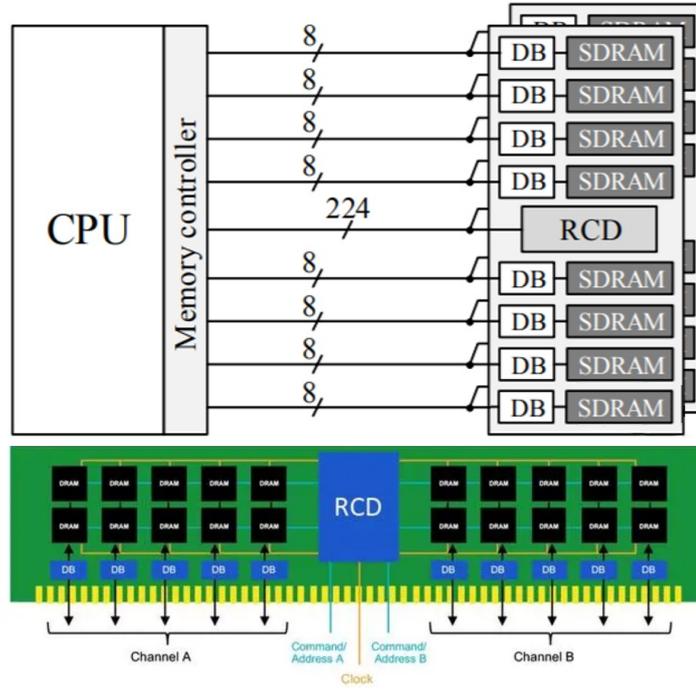
<p><b>DDR6?</b></p> <p><b>"Shannon Speed"</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Complex modulation?</li> </ul>	<p><b>Signal</b></p> <p><b>Specification</b></p> <p><b>Design</b></p>
<p><b>IQ Threshold</b></p> <p><b>DDR5</b></p> <p><b>"Hyper Speed"</b> - No visible eye</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pre/De-Emp., Impulse resp</li> </ul>	
<p><b>Impulse Response Threshold</b></p> <p><b>DDR4</b></p> <p><b>"Serial Speed"</b> - Clock often embedded</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eye Diagrams/Masks</li> <li>• Error rates, Jitter/Noise</li> </ul>	
<p><b>Jitter &amp; Noise Threshold</b></p> <p><b>DDR3</b></p> <p><b>DDR2</b></p> <p><b>DDR</b></p> <p><b>"High Speed"</b> - Transmission lines</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Timing</li> <li>• Impedance / load curves</li> </ul>	
<p><b>Signal Integrity Threshold</b></p> <p><b>Static RAM</b></p> <p><b>"Low Speed"</b> - Auto place and route</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fanout</li> <li>• Capacitance</li> </ul>	

# DDR5



Features	DDR4	DDR5	DDR5 Advantages
Speed	1600 to 3200 MT/s data rate 0.8 to 1.6 GHz clock rate	3200 to 6400 MT/s data rate 1.6 to 32 GHz clock rate	Higher bandwidth DDR5-4800 initial designs
IO Voltage	1.2V	1.1V	Lower power
Power Management	On motherboard	On DIMM PMIC	Better power efficiency
Channel Architecture	bit data channel(64 data + 8 ECC) 1 channel per DIMM	40-bit data channel(32 data + 8 ECC) 2 channels per DIMM	Higher memory efficiency
Burst Length	BC4, BL8	BC8, BL16	Higher memory efficiency
DRAM Size Supported	16 Gb	32 Gb	Higher capacity DIMMS

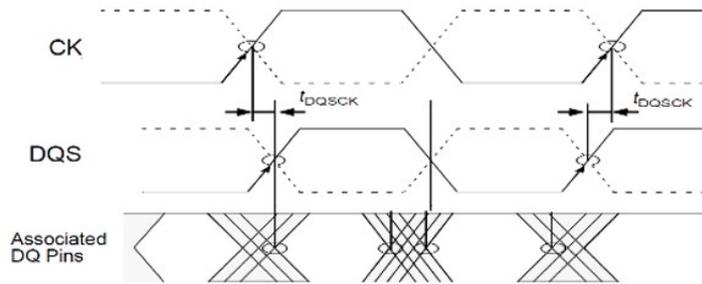
# DDR5



# DDR5特点



1.采用分离式全速率时钟，对应6400M T/s频率最高达3.2GHz



DDR5 DQS控制DQ读写时序

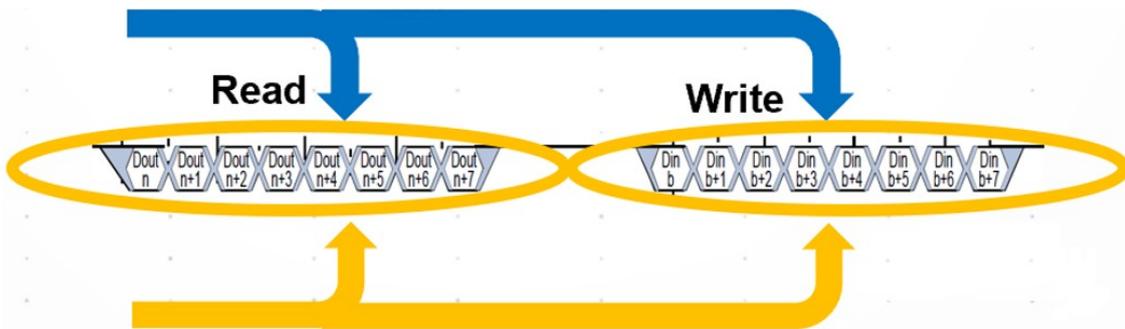
# DDR5特点



2.更宽的总线，单端信号，从RCD(Registering ClockDrivers)芯片来看采用Multi-Drop架构。

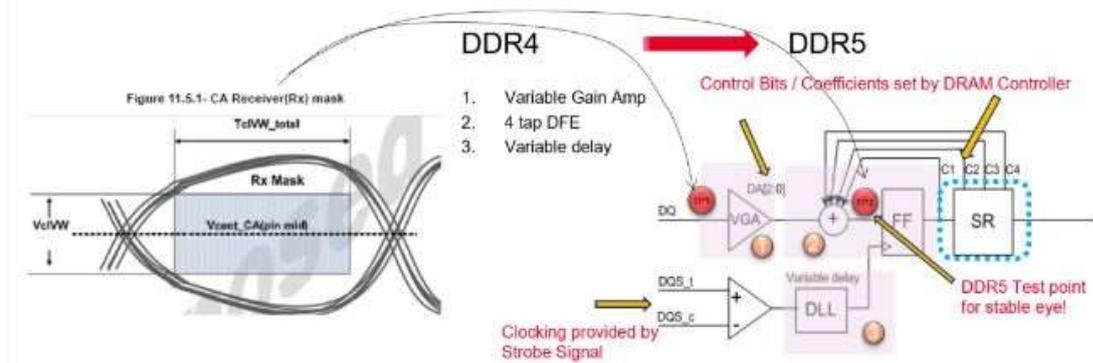
基于今天更宽的总线需求，在一块刀片服务器上可能支持1000+个并行数据通道。且由于继续采用单端信号且速率倍增，传统只在串行差分电路上考虑的损耗问题也开始困扰DDR5.因此在DDR5设计和验证测试上，不仅需要考虑传统的串扰问题还增加了对电路损耗问题的考虑

# DDR5特点



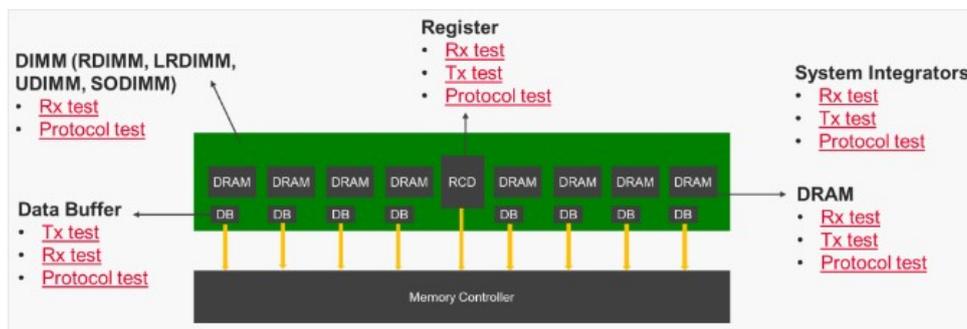
DDR5读写共享总线

# DDR5特点



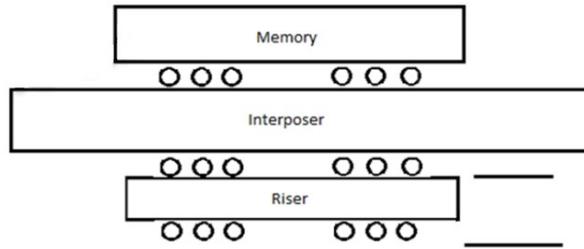
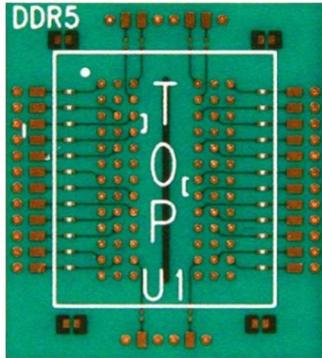
DDR5在接收端采用更多的类似高速串行总线的信号处理

# DDR5特点



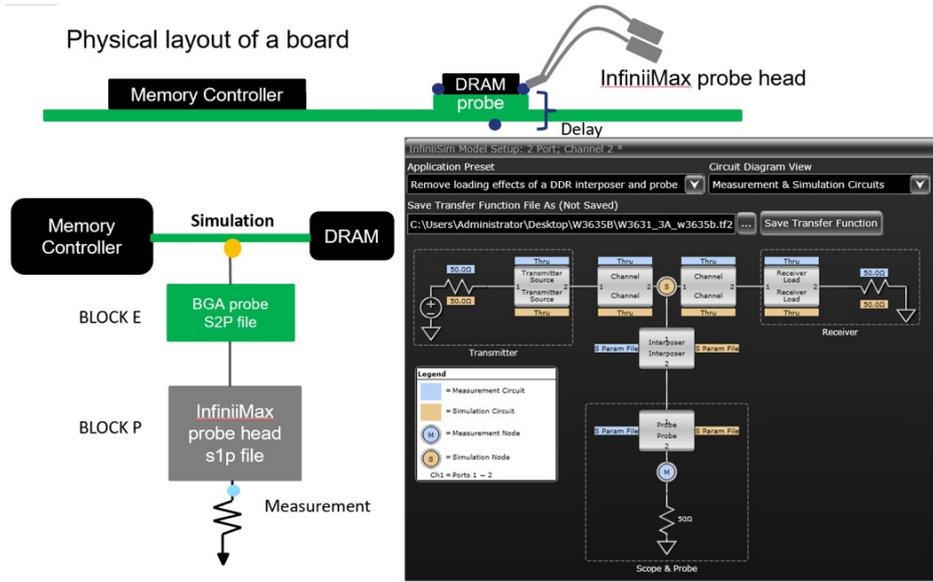
DDR5生态系统

# DDR5



DDR5 BGA Probe和板上安装示意图

# DDR5



InfiniiSim用于DDR BGA Probe去嵌示意图