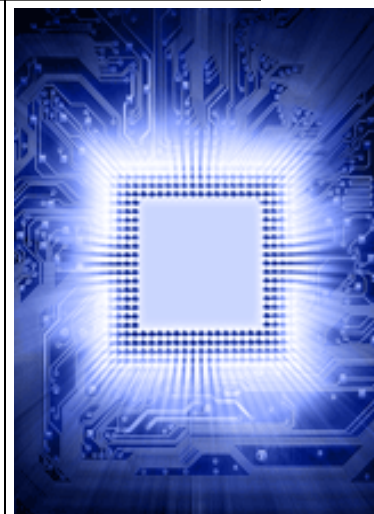


# 数字逻辑电路

# Digital Logic Circuit

概论

南京大学人工智能学院  
2018-2019 春季





# 内容提要



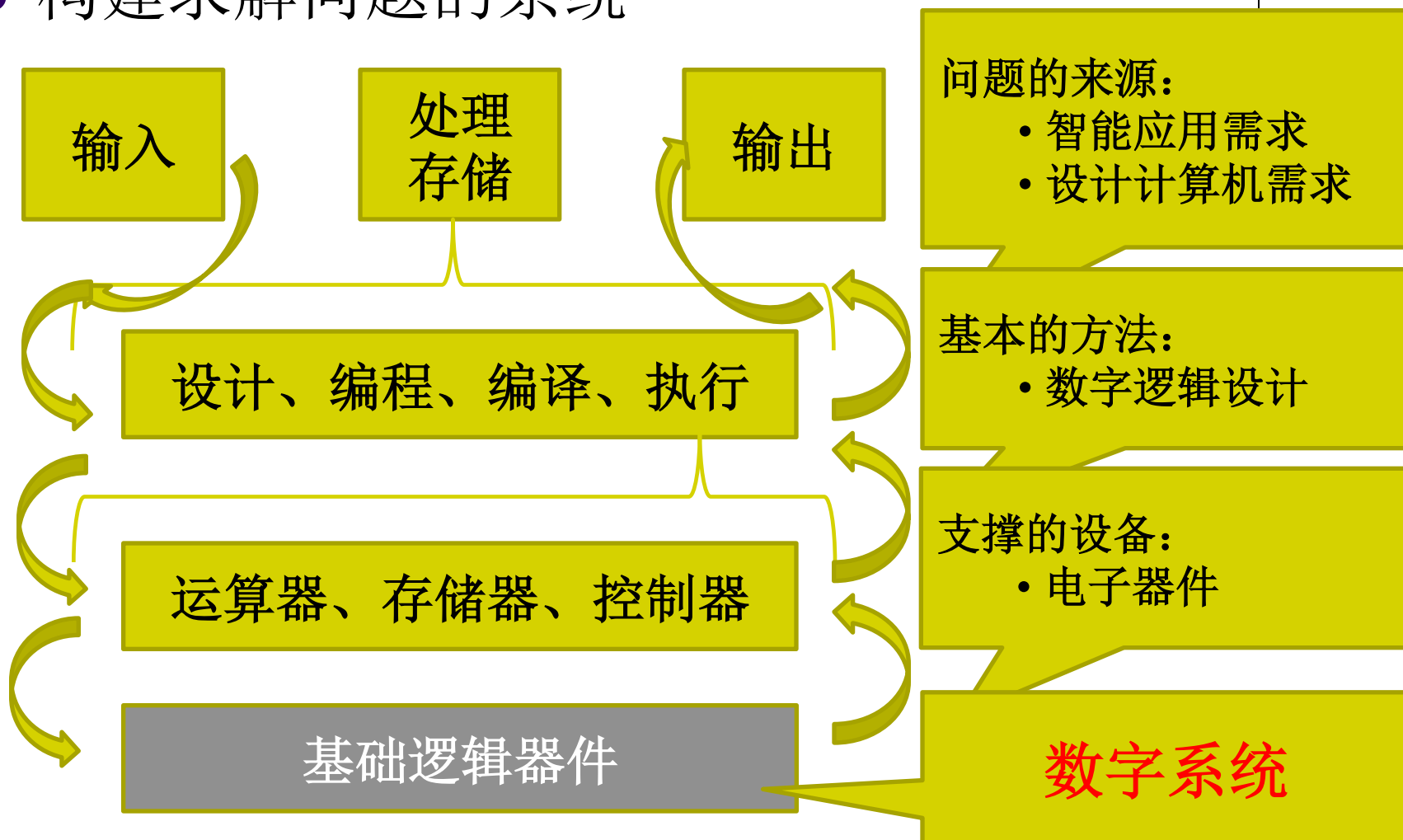
- 数字设计
- 数字设计相关的几个概念：
  - 数字化
  - 布尔逻辑
  - 器件基础
  - 数字设计的层次
  - 数字设计软件



# 1、什么是数字设计

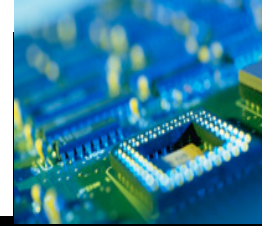


## ● 构建求解问题的系统





# 1、什么是数字设计

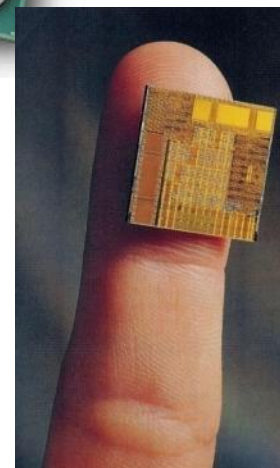
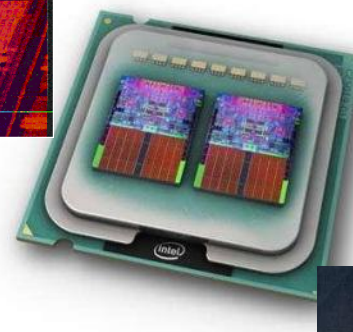


- 数字系统？

# Digital Circuits are Everywhere



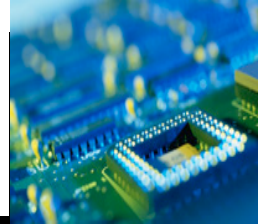
(Source: R. Tummala, IEEE Spectrum, June 2006)



Communications  
Multi-media  
Manufacturing  
Consumer electronics  
Health care  
Defense and security  
Software  
Automotive, etc



# Life Changers



## A World Transformed: What Are the Top 30 Innovations of the Last 30 Years?

Published: February 18, 2009 in Knowledge@Wharton



**Of these 30 innovations , 10 are directly related to advances in Digital Logic and Solid State Circuits;**

**Another 8 are the indirect results of ICs.**

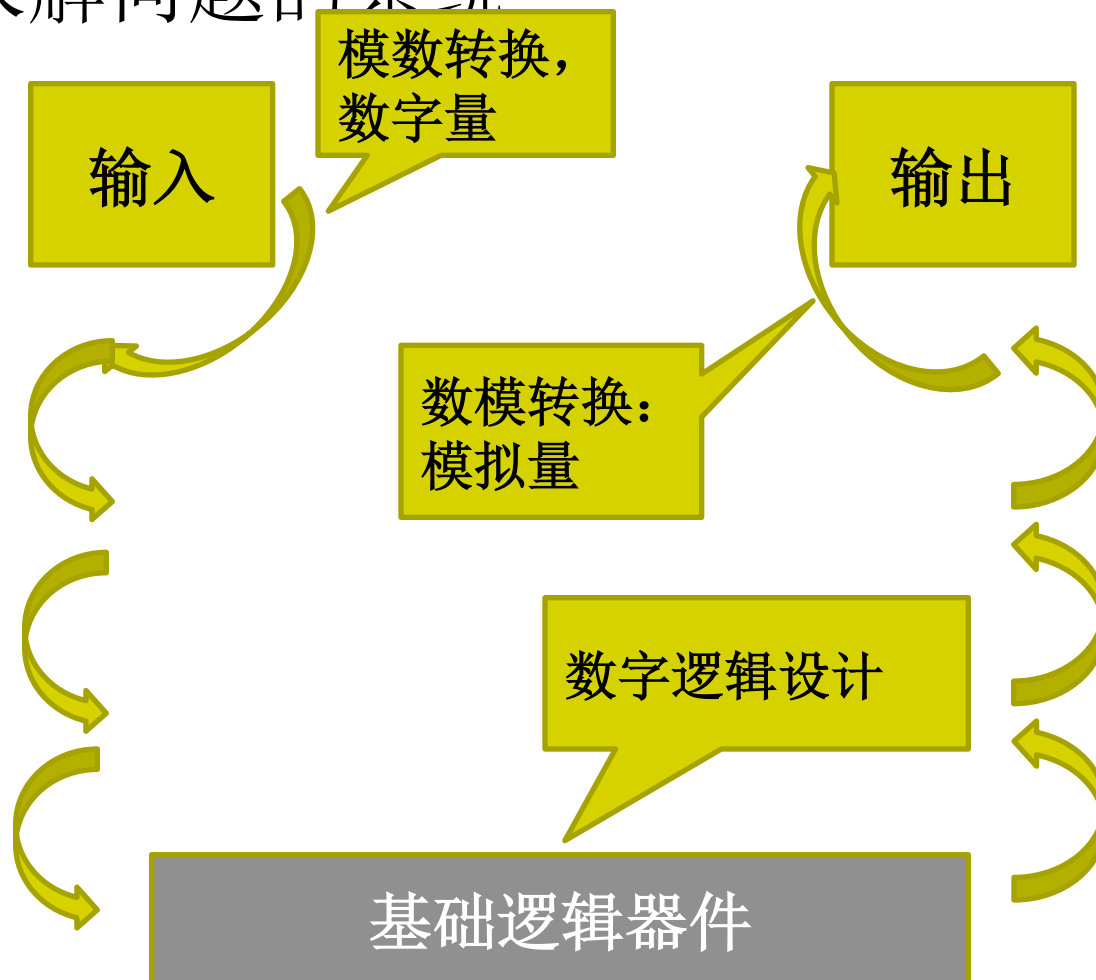
- 1. Internet, broadband, WWW (browser and html)
- 2. PC/laptop computers
- 3. Mobile phones
- 4. E-mail
- 5. DNA testing and sequencing/Human genome mapping
- 6. Magnetic Resonance Imaging (MRI)
- 7. Microprocessors
- 8. Fiber optics
- 9. Office software (spreadsheets, word processors)
- 10. Non-invasive laser/robotic surgery (laparoscopy)
- 11. Open source software and services (e.g., Linux, Wikipedia)
- 12. Light emitting diodes
- 13. Liquid crystal display (LCD)
- 14. GPS systems
- 15. Online shopping/ecommerce/auctions (e.g., eBay)
- 16. Media file compression (jpeg, mpeg, mp3)
- 17. Microfinance
- 18. Photovoltaic Solar Energy
- 19. Large scale wind turbines
- 20. Social networking via the Internet
- 21. Graphic user interface (GUI)
- 22. Digital photography/videography
- 23. RFID and applications (e.g., EZ Pass)
- 24. Genetically modified plants
- 25. Bio fuels
- 26. Bar codes and scanners
- 27. ATMs
- 28. Stents
- 29. SRAM flash memory
- 30. Anti retroviral treatment for AIDS



## 2、数字化：模拟与数字



- 构建求解问题的系统



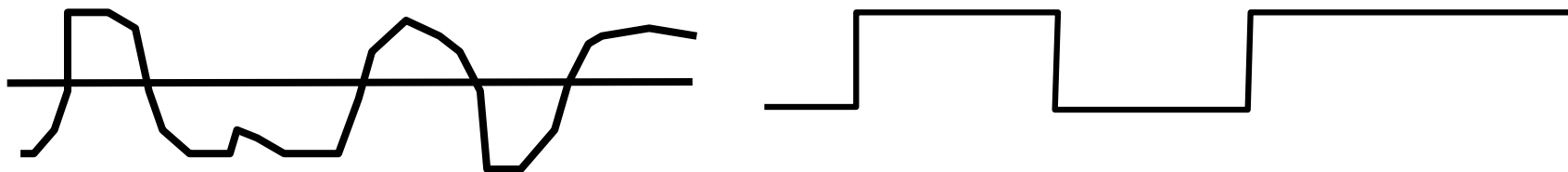




## 2、数字化：模拟与数字



- 数字系统处理的信号是随时间在一定范围内变化的信号。

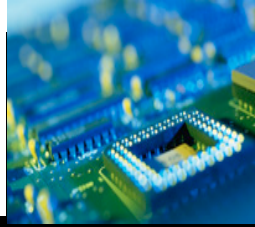


- 模拟量(Analog Value)和数字量(Digital Value)
  - 模拟量的特点：连续的物理量
  - 数字量的特点：离散的物理量。
    - 被抽象为在任何时刻只有两个离散值：0 和 1（或 高和低、或 真和假、或 H 和 L等）

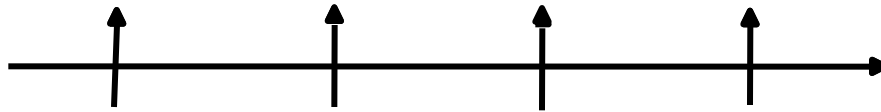




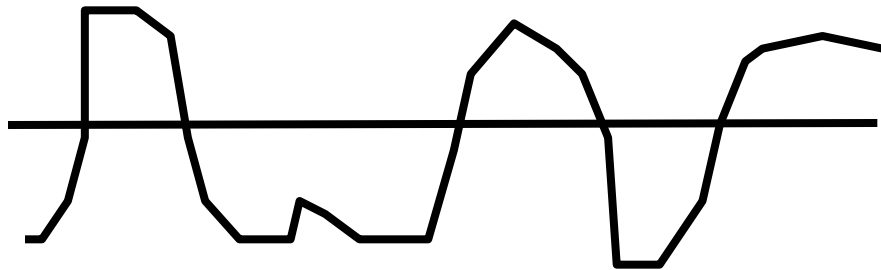
# Signal Examples Over Time



Time



Analog



Continuous in value & time

Digital

Asynchronous



Discrete in value & continuous in time

Synchronous



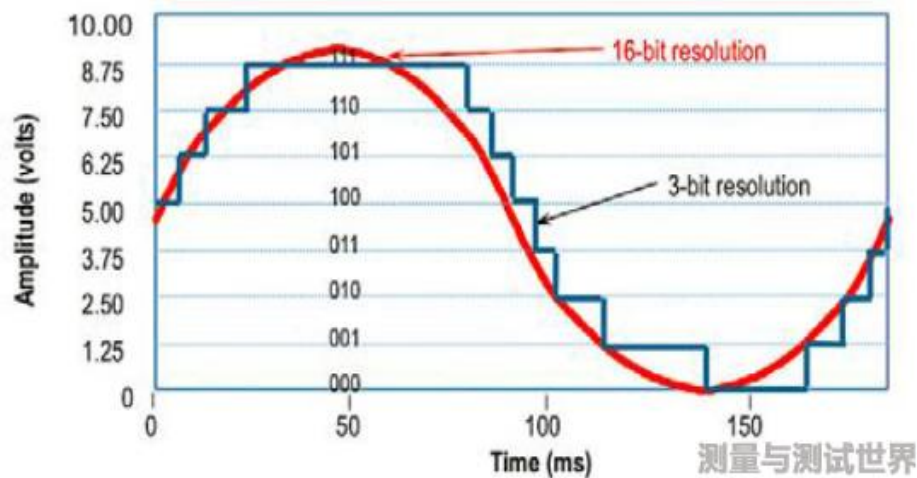
Discrete in value & time



## 2、数字化：模拟与数字



- 模拟量转换成数字量



- 数字电路特性

- 稳定性好
- 速度快
- 集成度高且成本低
- 设计容易、功能灵活
- 可编程性

6.25	→	110	$f(6.25) \rightarrow f(110)$
3.75	→	011	$f(110) \rightarrow h(0),$
7.11	→	111	$h(1),$
...			$h(0,1)$



# 思考？



- 现实问题中的模拟量为什么可以变成数字量进行处理？
  - 处理代价是什么
- 模拟量怎么变成数字量？
  - 模数转换
    - 取样
    - 量化
  - 数模转换
    - 合成



# 3、逻辑 Logic



S	A	B	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

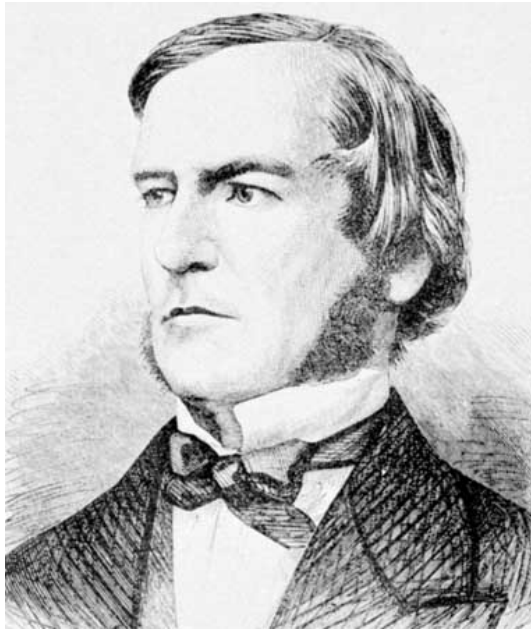


# 3、逻辑 Logic

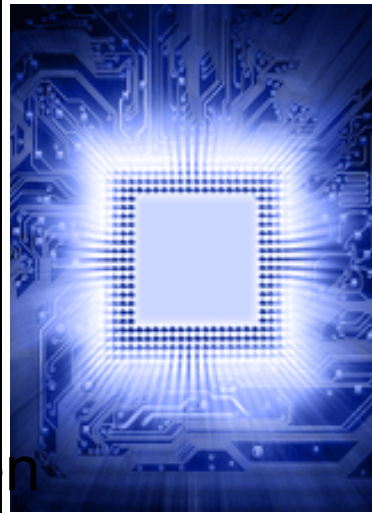


- 逻辑历史：
  - 公元前340，由Aristotle亚里士多德创造
  - 1854年，George Boole 认识到使用布尔代数可以符号化亚里士多德逻辑
  - 1938年，Claude Shannon表明使用开关电路能够分析布尔代数。
- 由逻辑量、逻辑关系和逻辑运算所组成的集合。
  - 输入量、输出量均为逻辑量；
  - 通过逻辑运算，实现其逻辑关系，即逻辑代数；
- 逻辑分为许多类型，其中最简单的是二值逻辑运算，也称二值布尔代数，又称开关代数。如：真/假、开/关、高/低、有/无，1/0，等

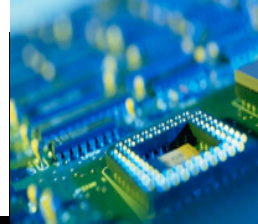
# Boolean Algebra



George Boole,  
Mathematician (self-taught),  
Professor of Mathematics of then  
Queen's College, Cork in Ireland)



(Encycl. Britannica online: <http://www.britannica.com/>)



# Boolean Algebra

- Boolean algebra deals with binary variables and a set of three basic logic operations: AND ( $\cdot$ ), OR ( $+$ ) and NOT ( $\bar{\phantom{x}}$ ) that satisfy basic identities

## Basic identities

1.  $X + 0 = X$

3.  $X + 1 = 1$

5.  $X + X = X$

7.  $X + \bar{X} = 1$

9.  $\bar{\bar{X}} = X$  Involution

2.  $X \cdot 1 = X$

4.  $X \cdot 0 = 0$

6.  $X \cdot X = X$

8.  $X \cdot \bar{X} = 0$

Existence 0 and 1 or  
operations with 0 and 1

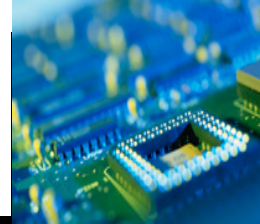
Idempotence 幂等性

Existence complements

Dual

Replace “+” by “ $\cdot$ ”, “ $\cdot$ ” by +,  
“0” by “1” and “1” by “0”





# Boolean Algebra

## Boolean Theorems of multiple variables

10.  $X + Y = Y + X$

Commutative

11.  $XY = YX$

12.  $(X + Y) + Z = X + (Y + Z)$

Associative

13.  $(XY)Z = X(YZ)$

14.  $X(Y + Z) = XY + XZ$

Distributive

15.  $X + YZ = (X + Y)(X + Z)$

16.  $\overline{X + Y} = \overline{X} \cdot \overline{Y}$

DeMorgan's

17.  $\overline{X \cdot Y} = \overline{X} + \overline{Y}$

S	A	B	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

## Dual

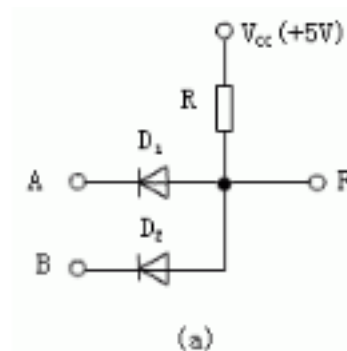
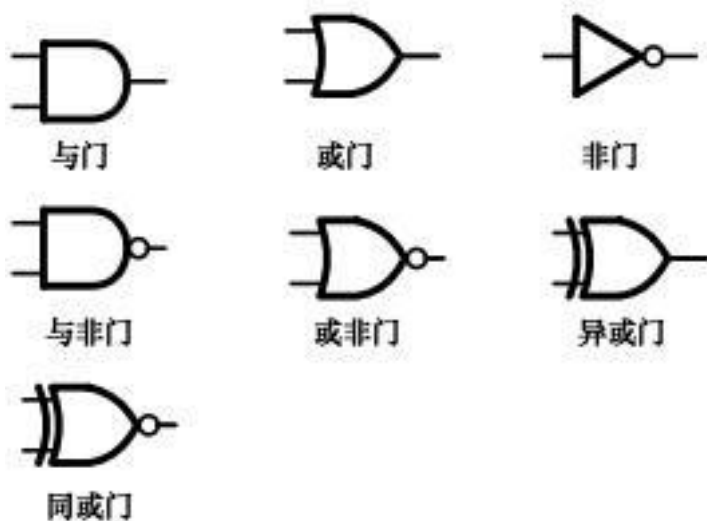
- 数字系统
  - 把输入的信号转换成二进制数字表示形态
  - 用布尔逻辑刻画输入信号到输出信号的转换/处理
  - 如何实现转换→基本数字逻辑单元



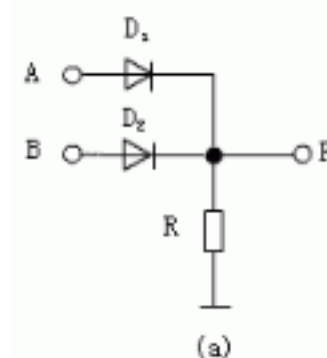
# 4、数字设计的电子设备基础



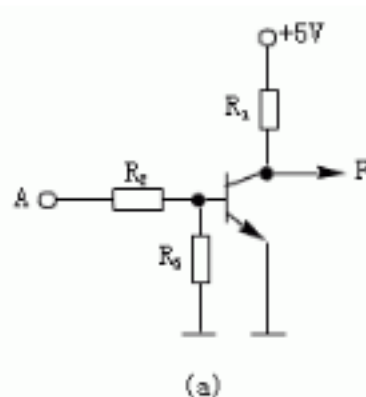
## ● 逻辑门



与门



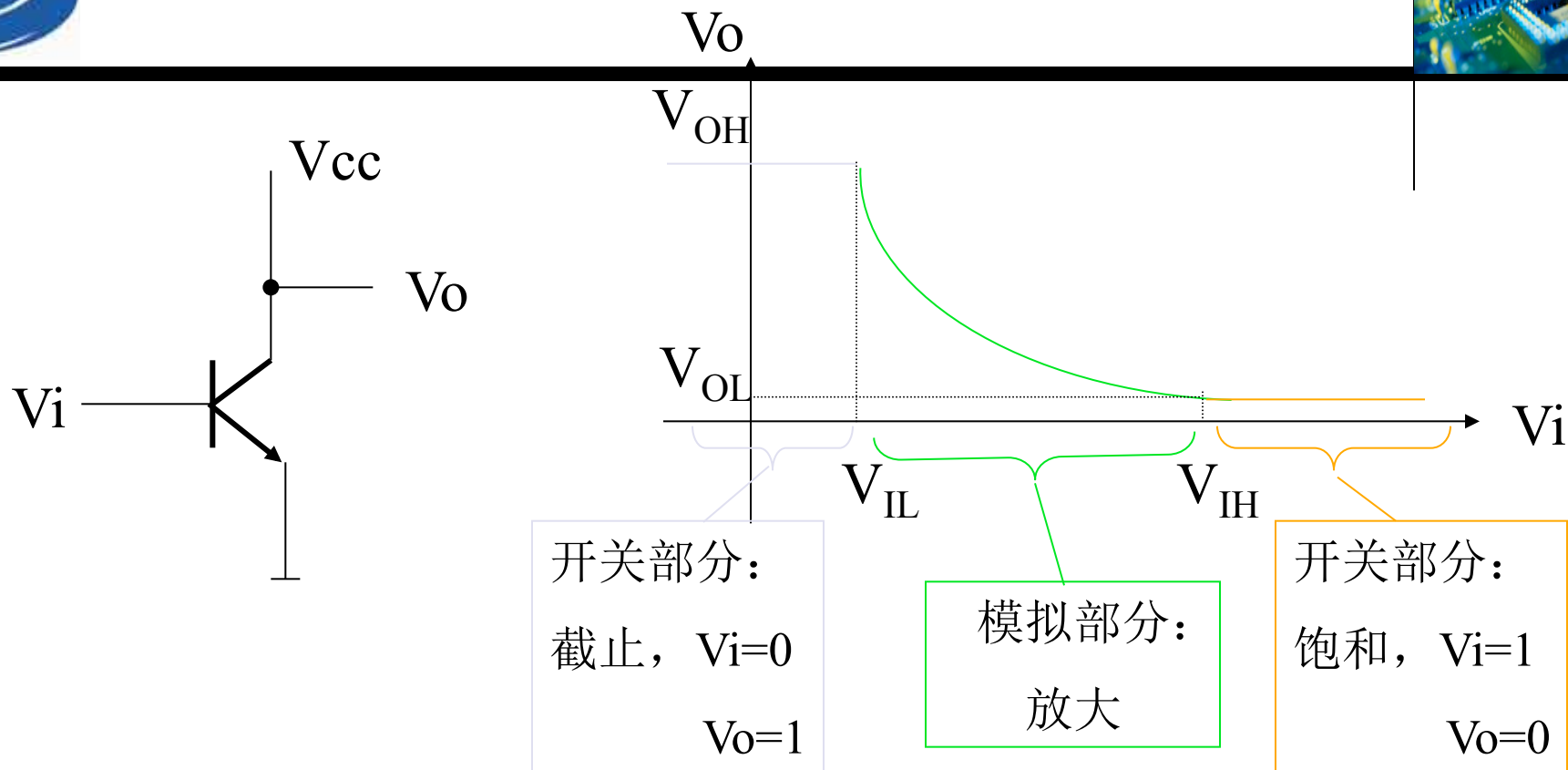
或门



非门



# 数字电路中的晶体管工作示意图



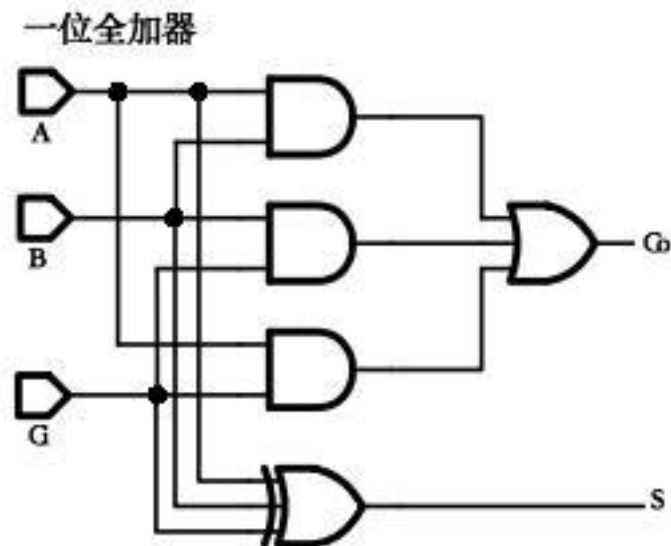
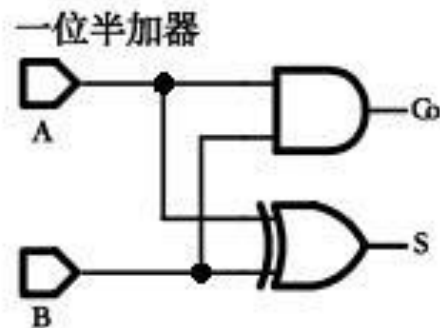
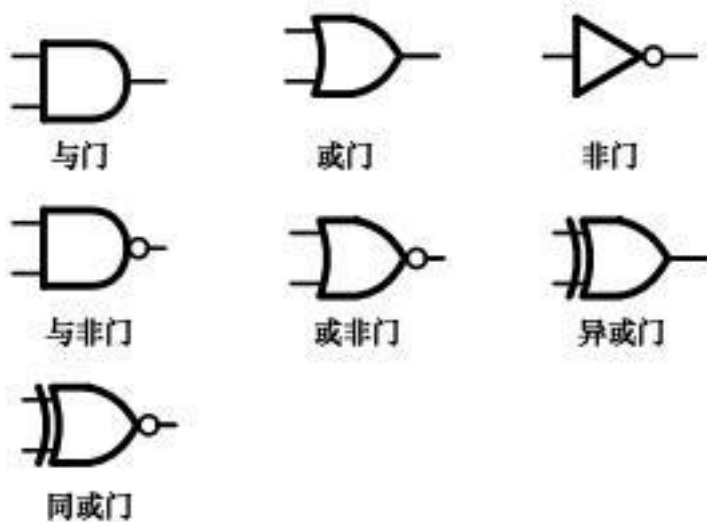
- 模拟器件和模拟系统是处理模拟信号的。
- 晶体管的开关特性是数字电路研究的重点。
- 数字逻辑中考虑电路模拟的特性，如时延问题。



# 4、数字设计的电子设备基础



## ● 逻辑门

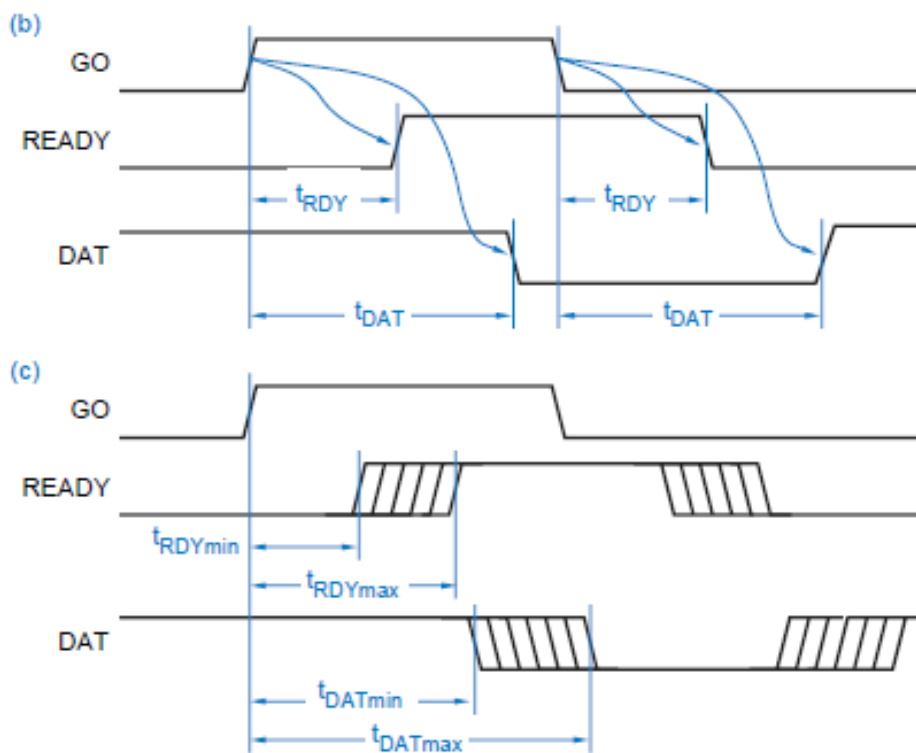
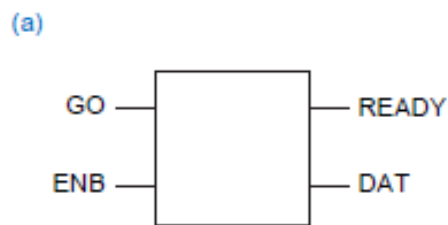




## 4、数字设计的电子设备基础



- 逻辑门

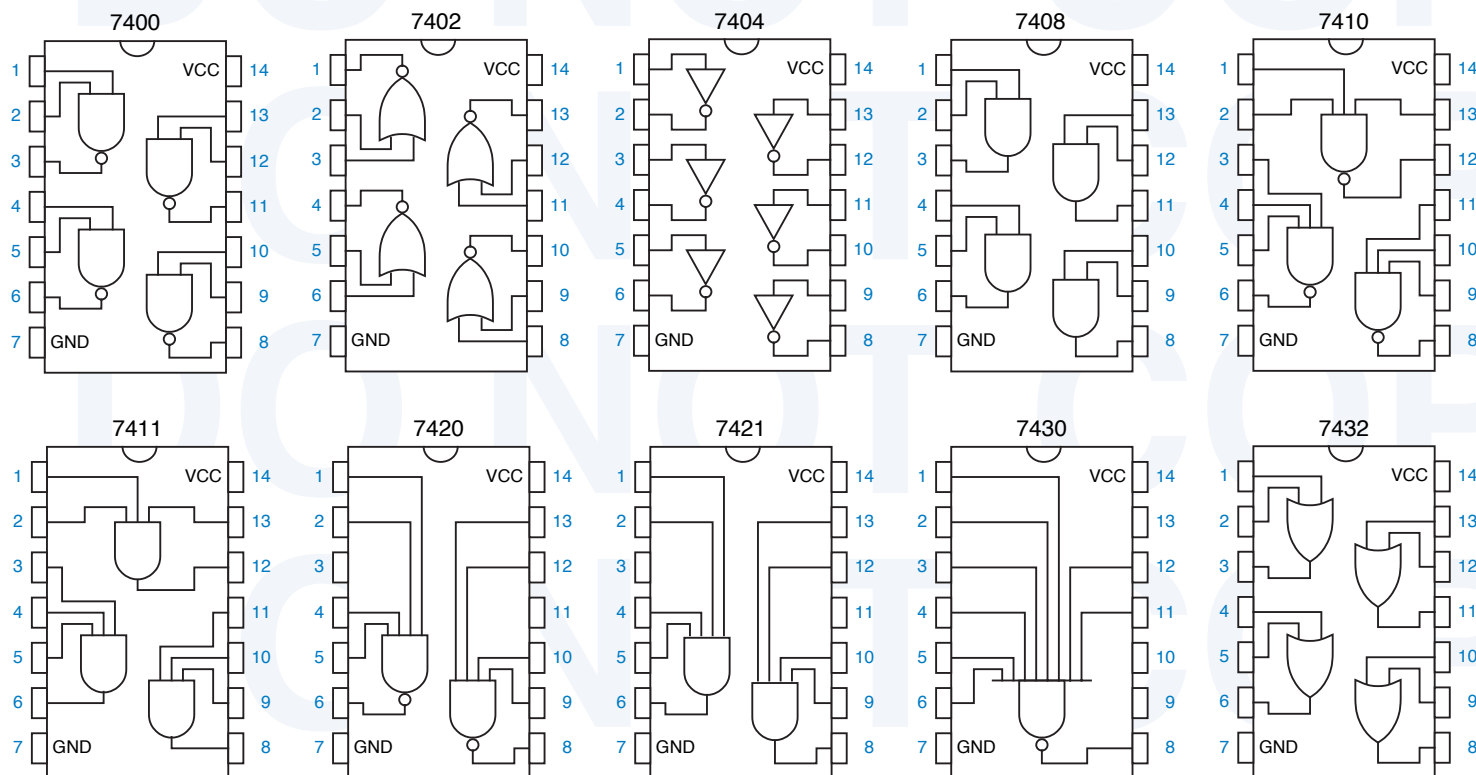
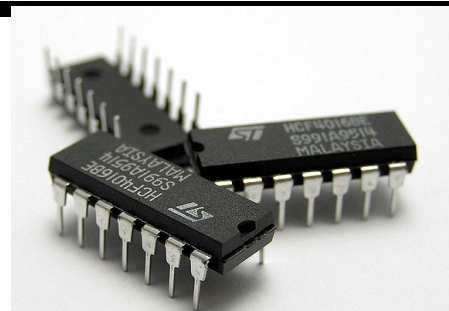




# 4、数字设计的电子设备基础



## ● 中规模芯片

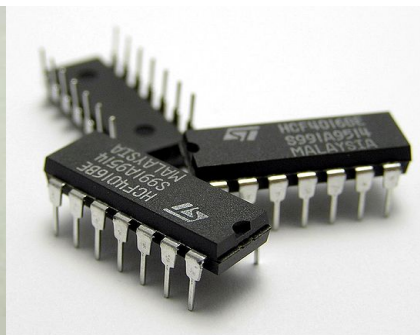
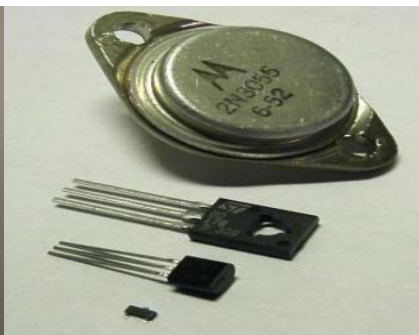




# 电子元器件的发展演变



- 电子管(1904)
- 晶体管(1947)
- 中/小规模集成电路(1950' s)
- 大规模/超大规模集成电路(1970' s)







# 什么是集成电路？



- 集成电路 (Integrated Circuit, 简称IC):

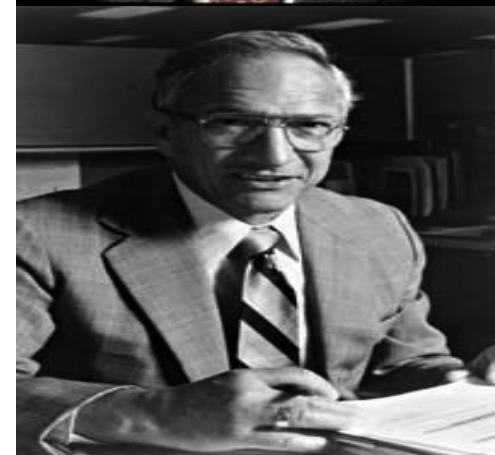
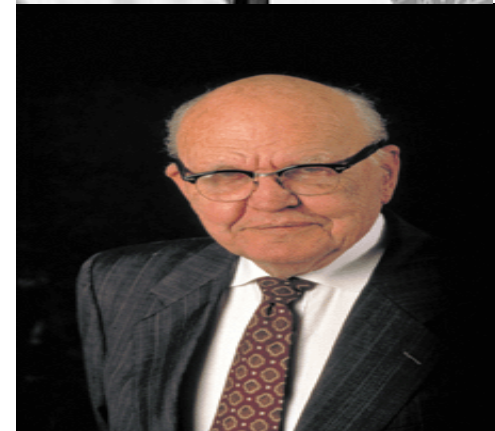
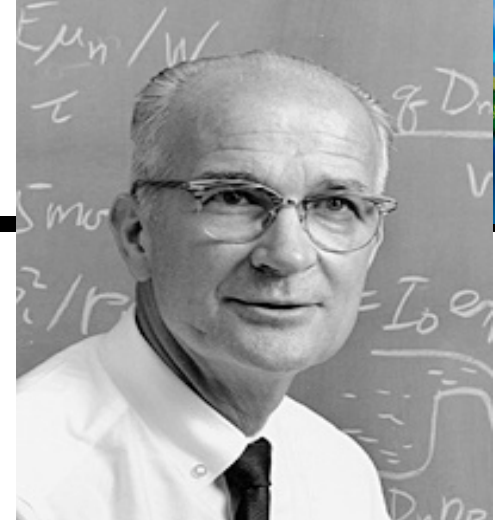
以半导体单晶片作为基片,采用平面工艺,将晶体管、电阻、电容等元器件及其连线所构成的电路制作在基片上所构成的一个微型化的电路或系统。

- 集成电路变得无处不在, 电脑, 手机和其他数字电器成为现代社会结构不可缺少的一部分。
- 有人认为集成电路带来的数字革命是人类历史中最重要的事件。



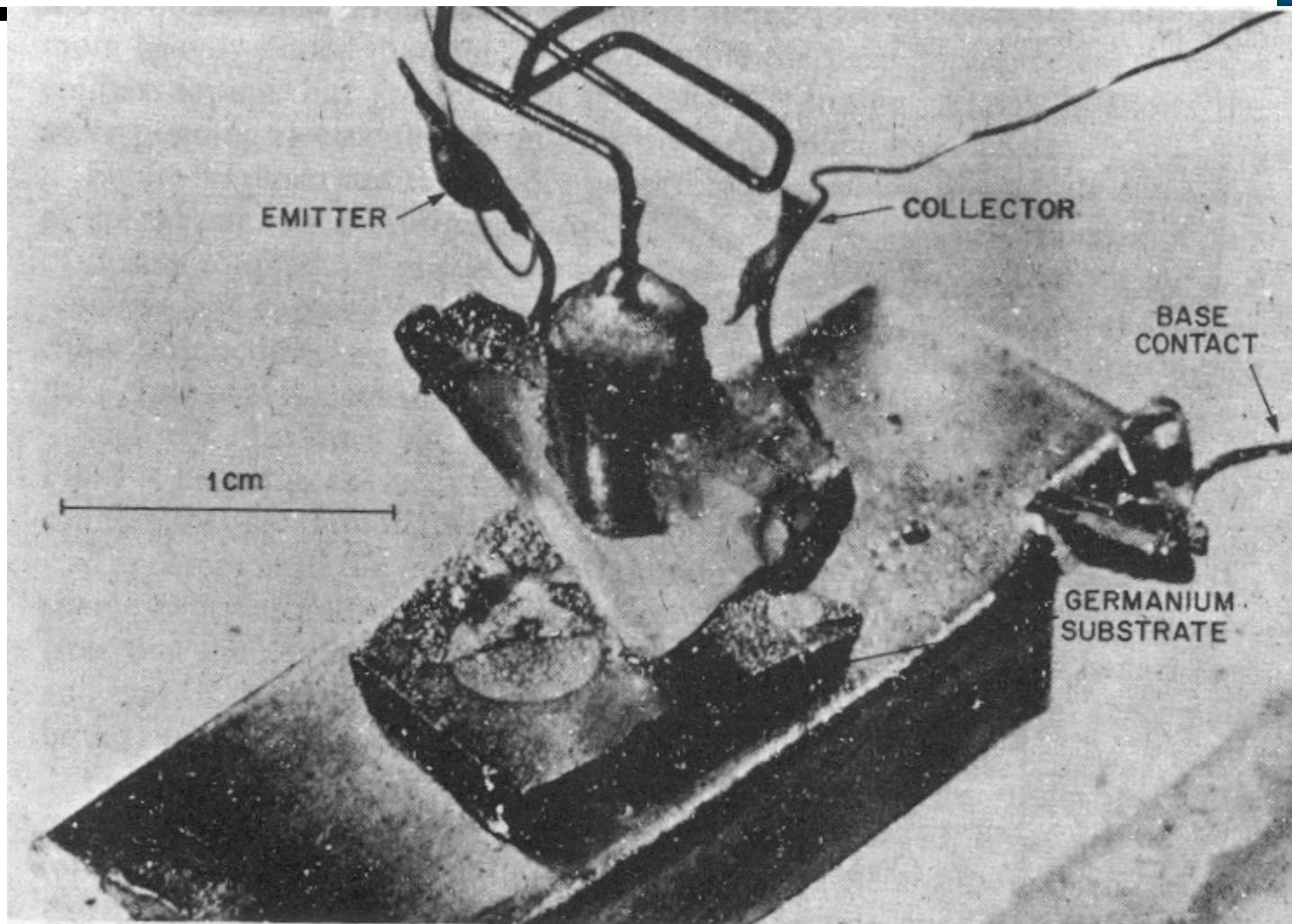
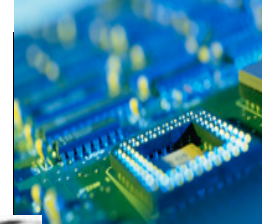
# 集成电路发展历史

- **1947年12月23日：第一个晶体管**
  - 肖克利Schokley、Bardeen、Brattain
  - Bell实验室
- **1958：第一个集成电路**
  - 由两个晶体管组成的触发器；
  - by Jack Kilby at Texas Instruments;
  - 获2000年诺贝尔奖
- **1959：平面化处理**
  - 一种更有效的制造晶体管方法
  - by Jean Hoerni and Robert Noyce at Fairchild Electronics





# 第一个晶体管



获得1956年Nobel物理奖

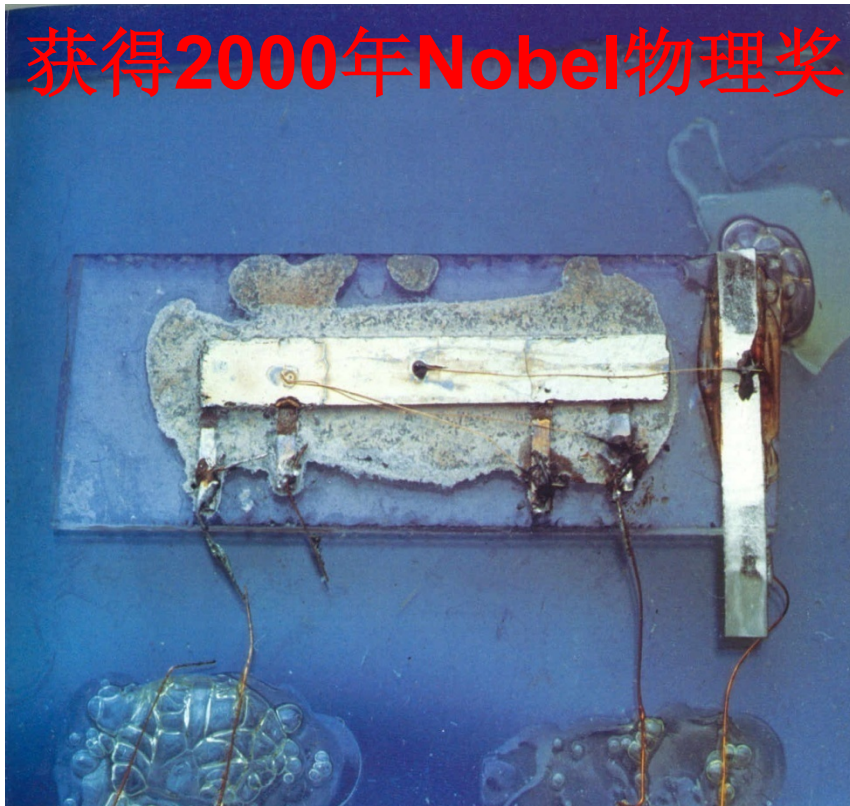




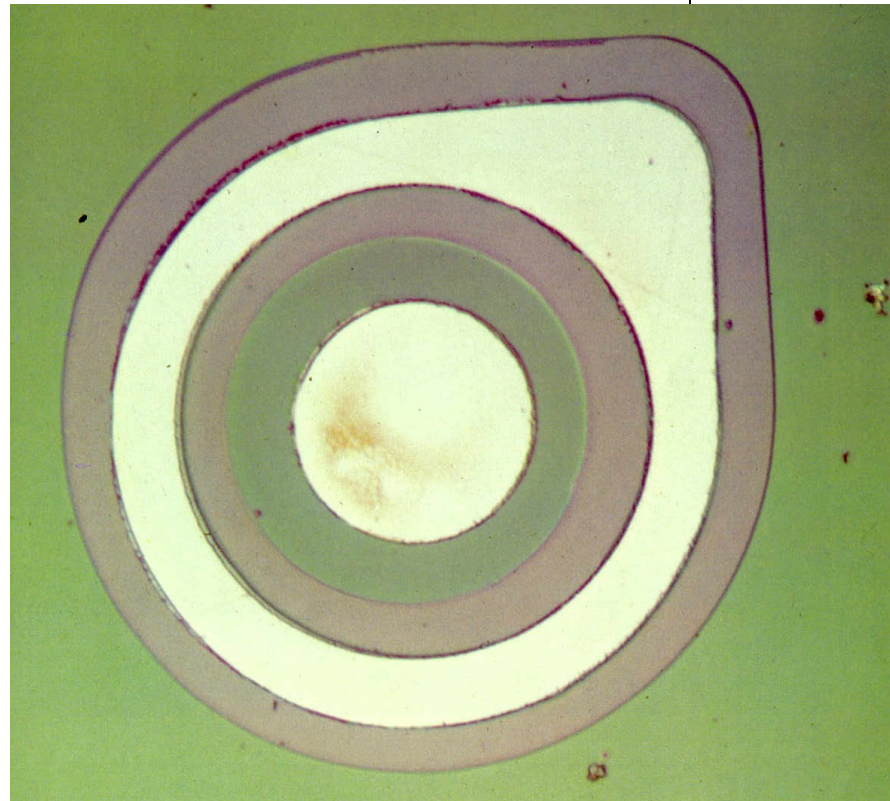
# 集成电路发展历史



获得2000年Nobel物理奖



by Jack Kilby at Texas Instruments, 1958  
1 Transistor and 4 Other Devices on 1 Chip



By Jean Hoerni and Robert Noyce  
at Fairchild Electronics, 1959



# 集成电路重要的里程碑



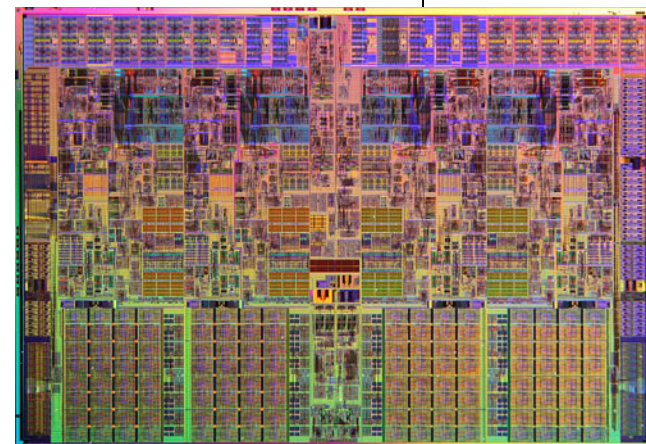
- **1962年Wanlass、C. T. Sah——CMOS技术**  
现在集成电路产业中占**95%**以上
- **1967年Kahng、S. Sze——非挥发存储器**
- **1968年Dennard——单晶体管DRAM**
- **1971年Intel公司微处理器——计算机的心脏**
  - 目前全世界微机总量约**6**亿台，在美国每年由计算机完成的工作量超过**4000**亿人年工作量。美国欧特泰克公司认为：微处理器、宽频道连接和智能软件将是**21**世纪改变人类社会和经济的三大技术创新



# 集成电路发展历史



- 2009: 45纳米
  - Intel Core i7 包含7.9亿个晶体管
  - AMD羿龙II 包含7.61亿个晶体管
- 集成电路发展趋势：越来越小
  - 越小越便宜，越小越快，越小功耗越低（低碳）
  - 减小蚀刻尺寸，缩小晶体管、电阻、电容和连线的尺寸
  - 增大硅晶圆的面积：使每块晶圆能生产更多的芯片
- 时间节点发展预测（2006年路线图）：

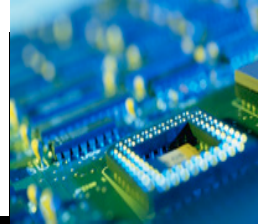


Year	2004	2007	2010	2013	2016	2020
nm	90	65	45	32	22	14

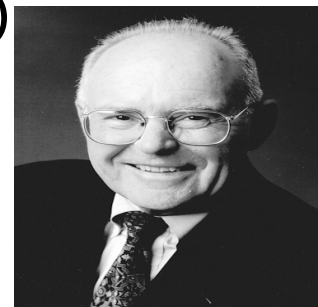




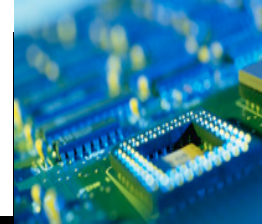
# 信息技术发展的三大规律



- 摩尔定律即电子定律：集成电路的集成度每**18**个月翻一番（**1965**年）
  - 集成电路芯片的集成度每三年提高**4**倍
  - 而加工特征尺寸缩小  $\sqrt{2}$  倍
- 超摩尔定律即光子定律：光纤传输的数据总量每**9**个月翻一番；
- 迈特卡夫Metcalfe定律：网络的价值与联网设备数（用户数）的平方关系成正比。







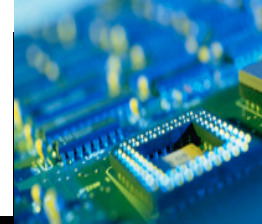
# 附：背景材料



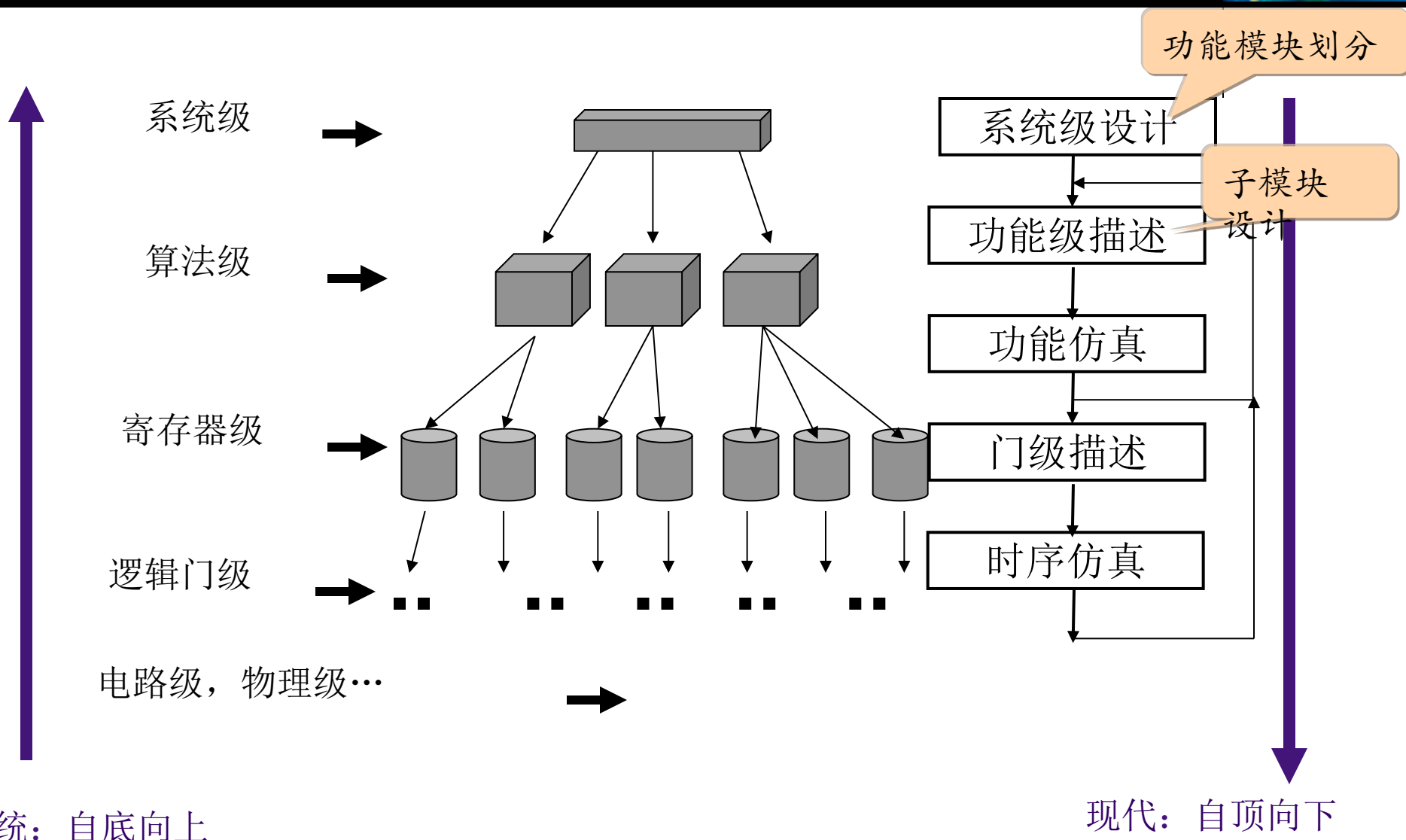
# 5、数字设计的层次



前端	抽象层次	时序单位	基本单元	电路的功能描述
	系统级	数据处理	进程及通信	自然语言描述或者相互通信的进程
	算法级	运算步	运算的控制	行为有限状态机、数据流图、控制流图
	寄存器变换级	时钟周期	寄存器、运算、变换	布尔方程、二元决策图、有限状态机
后端	逻辑门级	延时	逻辑门、器件（晶体管）	原理图
	电路级	物理时间	晶体管、R,L,C等	电压、电流的微分方程
	物理（版图）级		几何图形	



# “自底向上”与“自顶向下”



传统：自底向上

现代：自顶向下



# EDA（电子设计自动化）技术

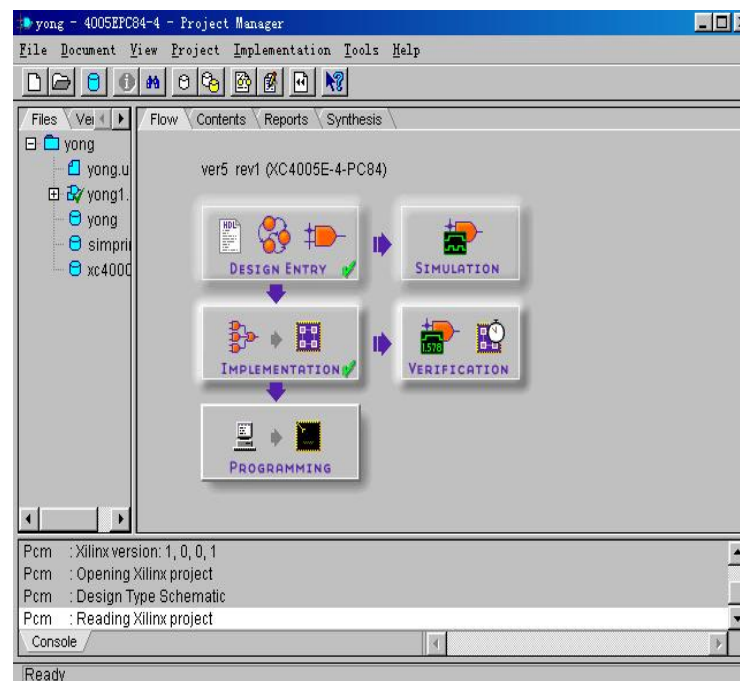


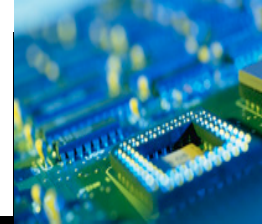
EDA技术以计算机为基本工具、借助于软件设计平台，自动完成数字系统的仿真、逻辑综合、布局布线等工作。最后下载到芯片，实现系统功能。使硬件设计软件化。

## 1、设计：

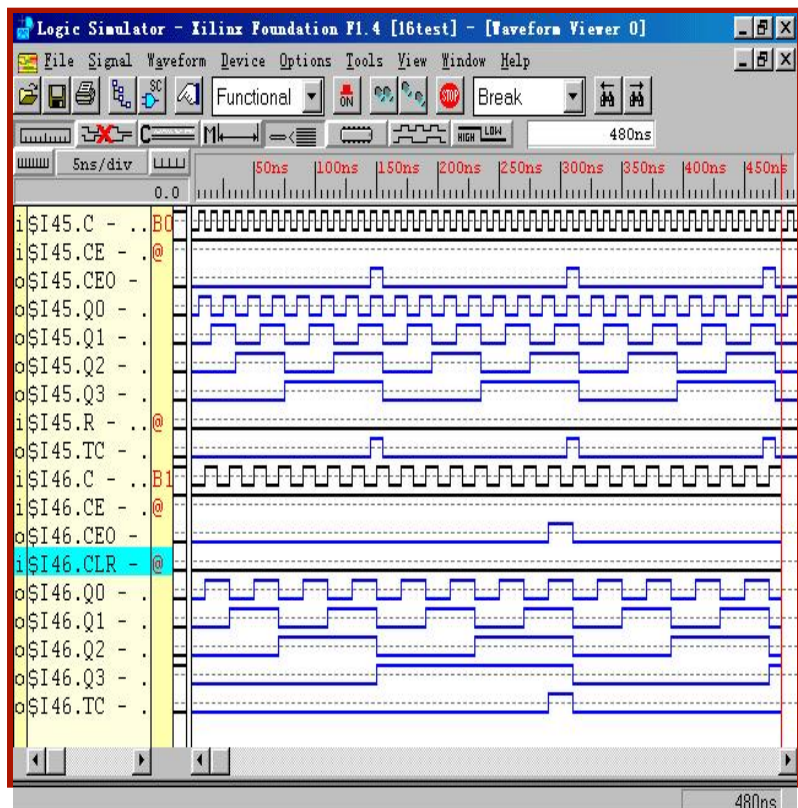
在计算机上利用软件平台进行设计

设计方法 { 原理图设计  
HDL语言设计  
状态机设计





## 2、仿真



## 3、下载



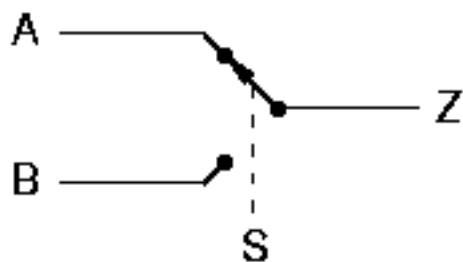
## 4、验证结果



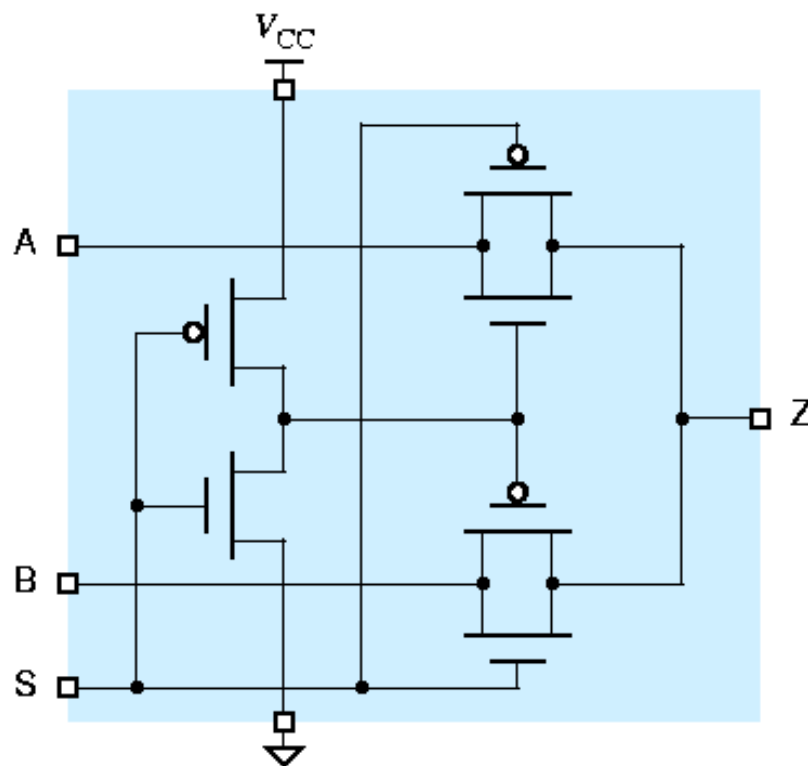
# 数字设计举例



- 多路复用器：2个输入（A， B）、1个控制输入 S 和一个输出 Z）



开关模型



使用CMOS传输门设计的多路复用器

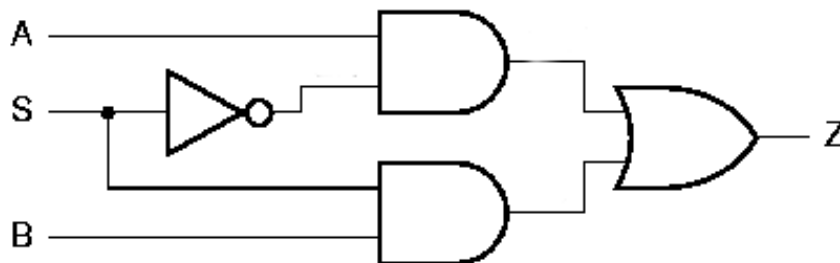


# 数字设计举例

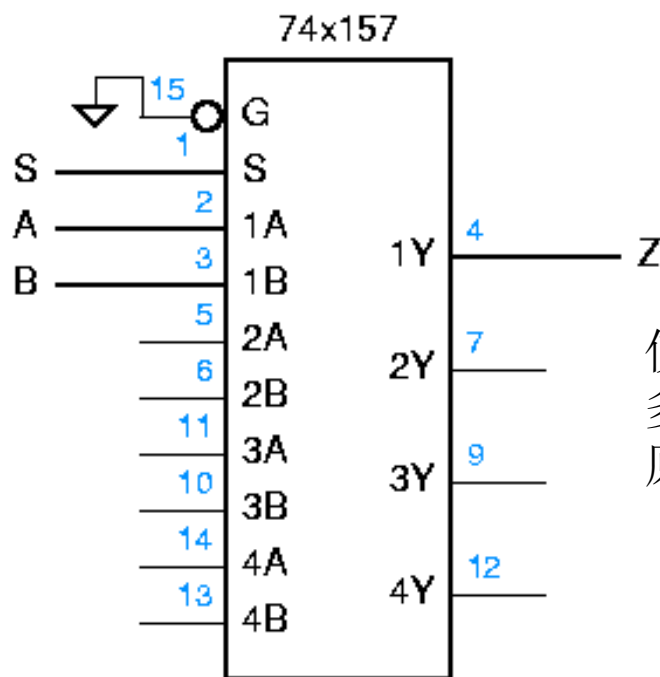


S	A	B	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

多路复用器真值表



多路复用器的门级逻辑原理图



使用MSI构件的多路复用器逻辑原理图





# 数字设计举例



```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;

entity Vchap1mux is
    port ( A, B, S: in  STD_LOGIC;
           Z:          out STD_LOGIC );
end Vchap1mux;

architecture Vchap1mux_arch of Vchap1mux is
begin
    Z <= A when S = '0' else B;
end Vchap1mux_arch;
```

多路复用器VHDL程序

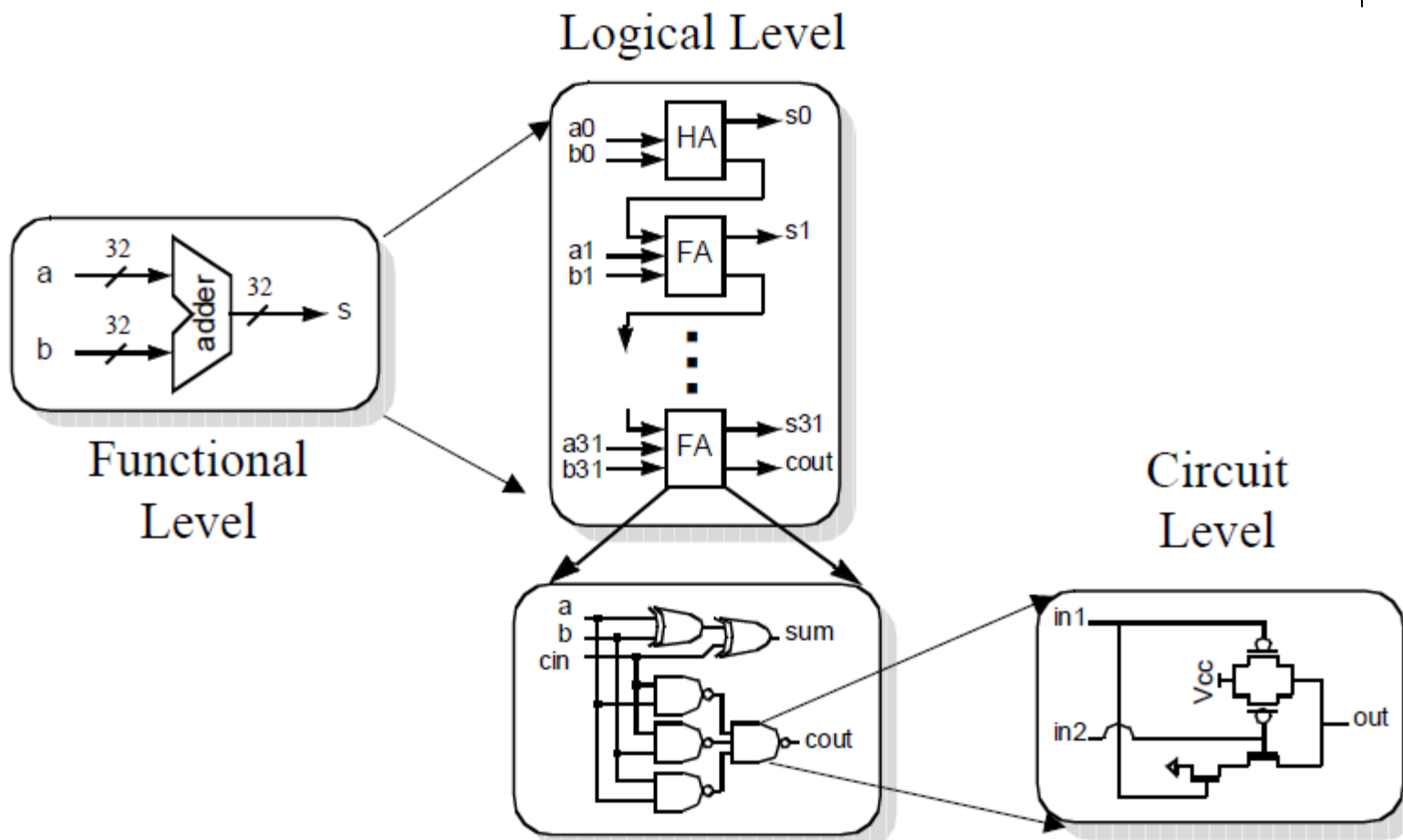
```
module Vrchap1mux(A,B,S,Z);
    input A,B,S;
    output Z;

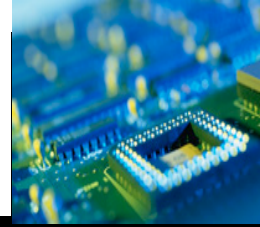
    assign Z= (S==0) A :B;
endmodule
```

多路复用器Verilog HDL程序



# 数字设计





- P16,1.3,1.4,1.5

任何问题？