

# 半导体 集成电路

学校：西安理工大学

专业：电子、微电

时间：秋季学期

主讲教师：余宁梅

# 第1章：绪论

? 集成电路的基本概念

? 过去、现状、发展

? 面临的主要问题

? 集成电路产业在我国的发展现状

? 课程内容



考核方法



# 提纲

---

- 一. 集成电路的概念
- 二. 集成电路的过去，现在和未来
- 三. 集成电路面临的主要问题
- 四. 我国产业现状
- 五. 本课程主要内容
- 六. 教材及主要参考资料
- 七. 课程要求及考核方法



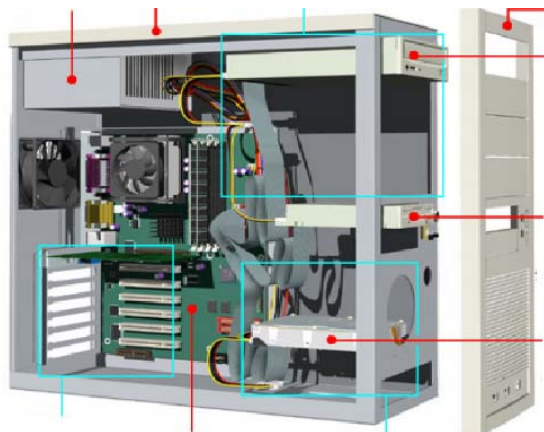
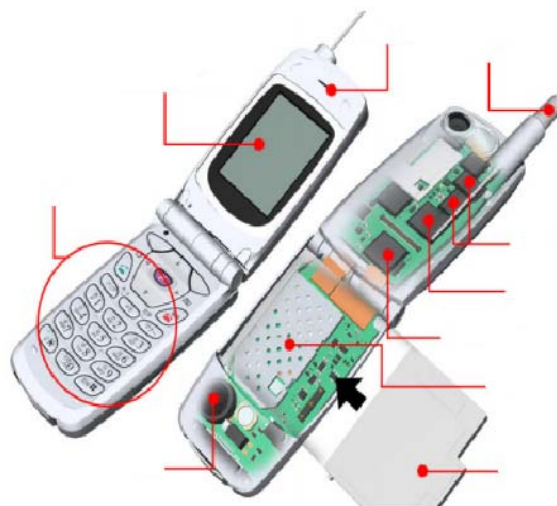
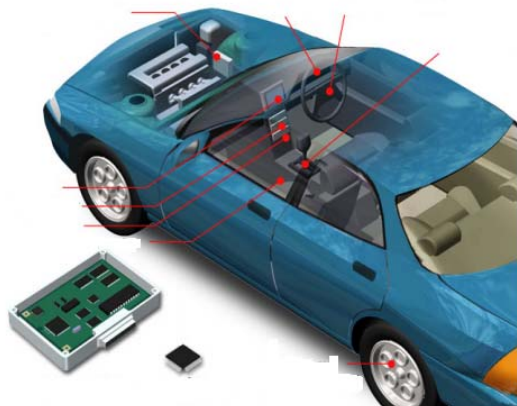
# 提纲--1

---

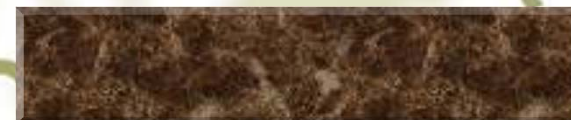
## 一. 集成电路的概念

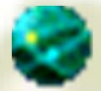
1. 什么是集成电路？
2. 集成电路的分类
3. 相关基本概念

# 日常生活中的集成电路



无处不在，彻底渗入并改变了人类生活方式





# 什么是集成电路？



电容



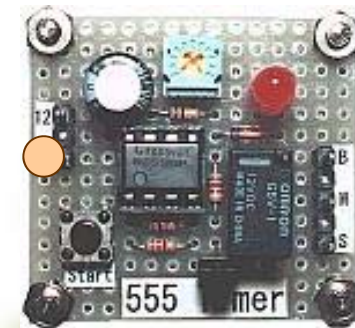
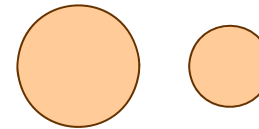
电阻



二极管

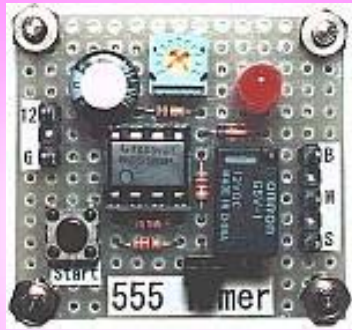


三极管



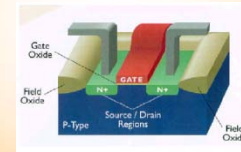
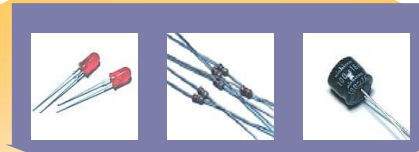
是不是集成电路？

# 集成电路的定义



电路

将电子元器件按照一定的要求连接起来, 完成一定的功能



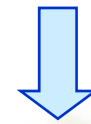
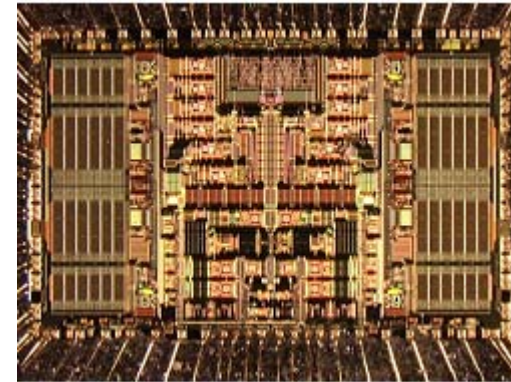
集成

将所有元器件和连线做在同一个基板上, 组成系统

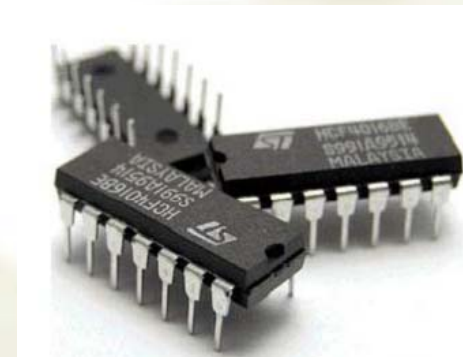
## 裸片

### Integrated Circuit, 缩写 IC

- 通过一系列特定的加工工艺，将晶体管、二极管等有源器件和电阻、电容等无源器件，按照一定的电路互连，“集成”在一块半导体单晶片（如硅或砷化镓）上，封装在一个外壳内，执行特定电路或系统功能



“衣服”

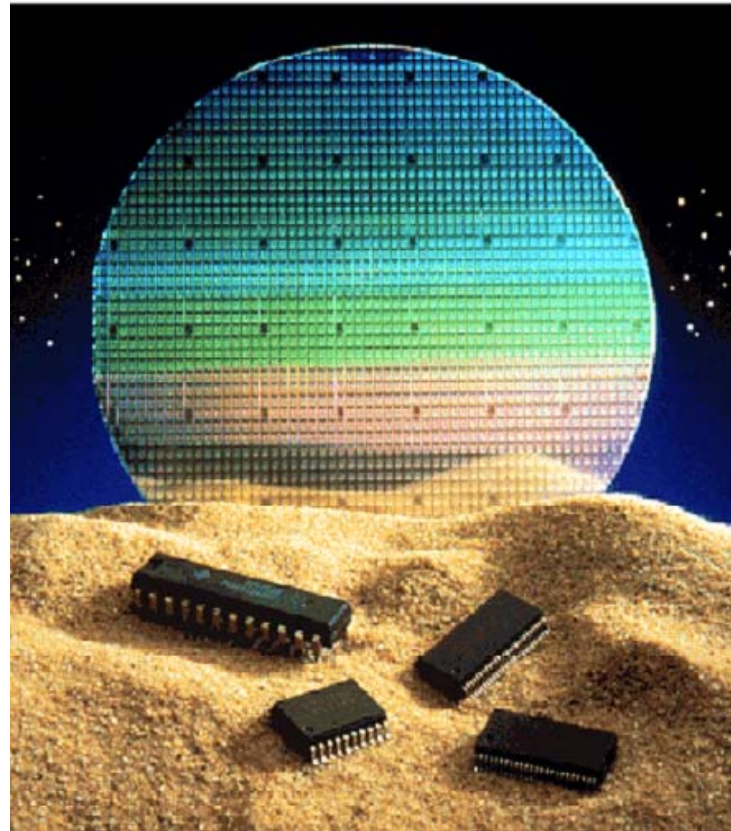


☞ 集成电路—微电子技术的核心

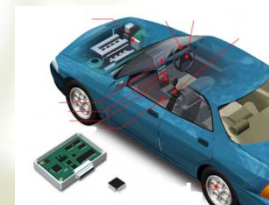


# 集成电路从哪里来？

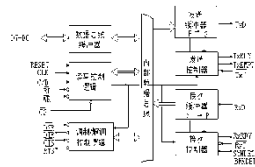
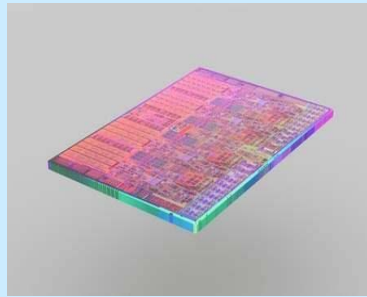
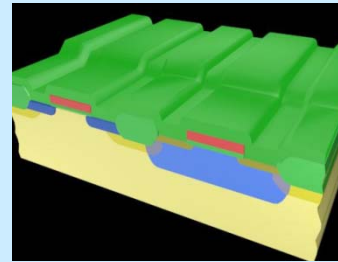
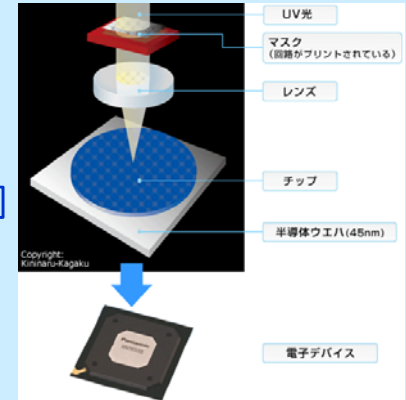
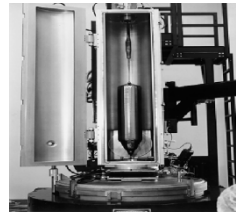
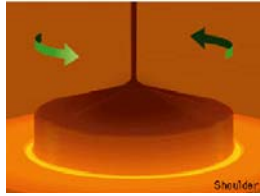
- ❖ 没有沙子就没有家用电脑，手机，高清电视，程控交换机，移动通讯，没有现代电子工业。
- ❖ 沙子—二氧化硅（ $\text{SiO}_2$ ）
- ❖ 硅占整个地球总重量（质量）的**25%**，仅次于氧。纯净的二氧化硅叫石英，水晶是一种无色透明的大型石英结晶体矿物。当二氧化硅结晶完美时就是水晶。水晶项链或手链。



- ❖ 英特尔一位技术总裁曾说：英特尔的芯片仅用两种原料：  
沙子和脑子。
- ❖ 员工有了富于创造力的“脑子”，才能让普通的“沙子”为用户创造出独特的价值。

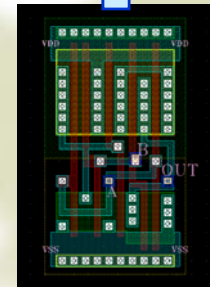
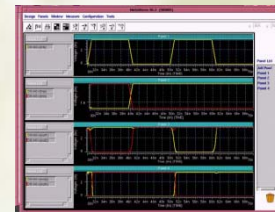
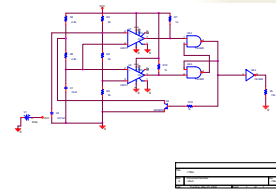


# 从沙子到CPU



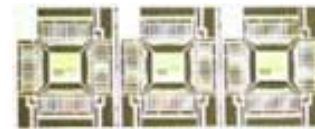
```
module sync_fir #(parameter ADDRESS = 4)
(output reg [ADDRESS-1] wq1_qptr,
input [ADDRESS-1] wq1_qptr,
input wclk, wst_n);
reg [ADDRESS-1] wq1_qptr;

always @(posedge wclk or negedge wst_n)
if (!(wst_n | (wq1_qptr.wq1_qptr) == 0))
else
(wq1_qptr.wq1_qptr) <= (wq1_qptr.qptr);
endmodule
```



# 相关基本概念

■ **形状**：一般为正方形或矩形



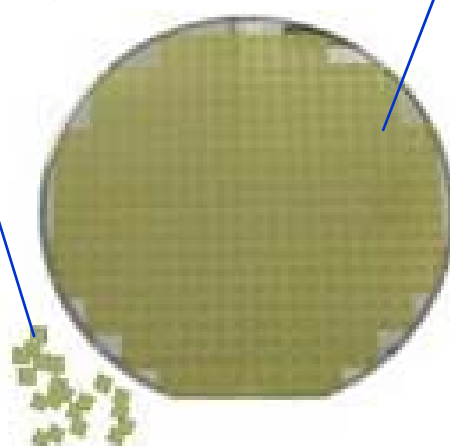
■ **面积**：几平方毫米到几百平方毫米。面积增大引起功耗增大、封装困难、成品率下降，成本提高，可通过增大硅园片直径来弥补。

芯片尺寸  
(Die Size)

晶圆尺寸  
(Wafer Size)

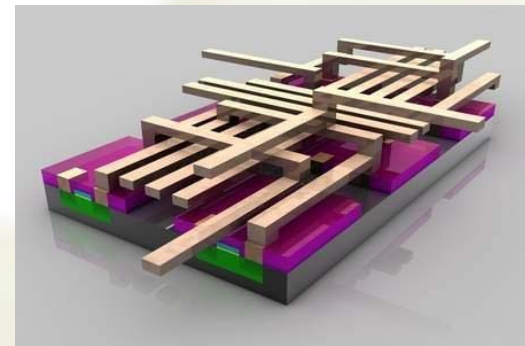
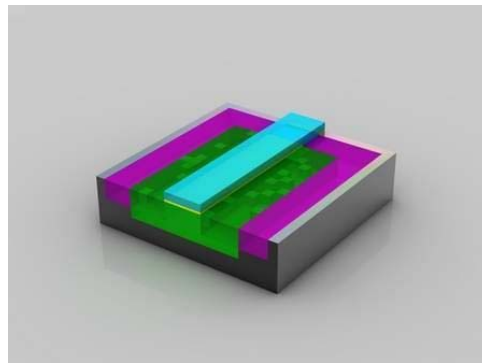
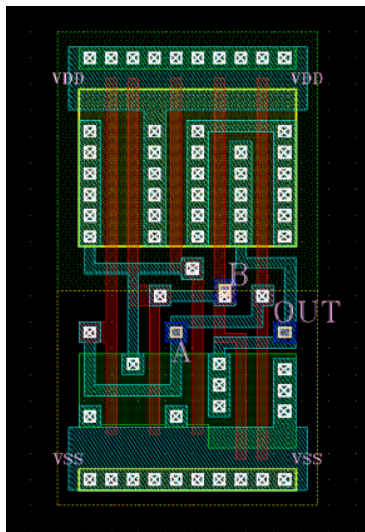
几平方毫米到几百平方毫米

6英寸、8英寸、12英寸



## ■ 特征尺寸

- 集成电路器件中最细线条的宽度，对MOS器件常指栅极所决定的沟道几何长度，是一条工艺线中能加工的最小尺寸。
- 反映了集成电路版图图形的精细程度，特征尺寸的减少主要取决于光刻技术的改进（光刻最小特征尺寸与曝光所用波长）。

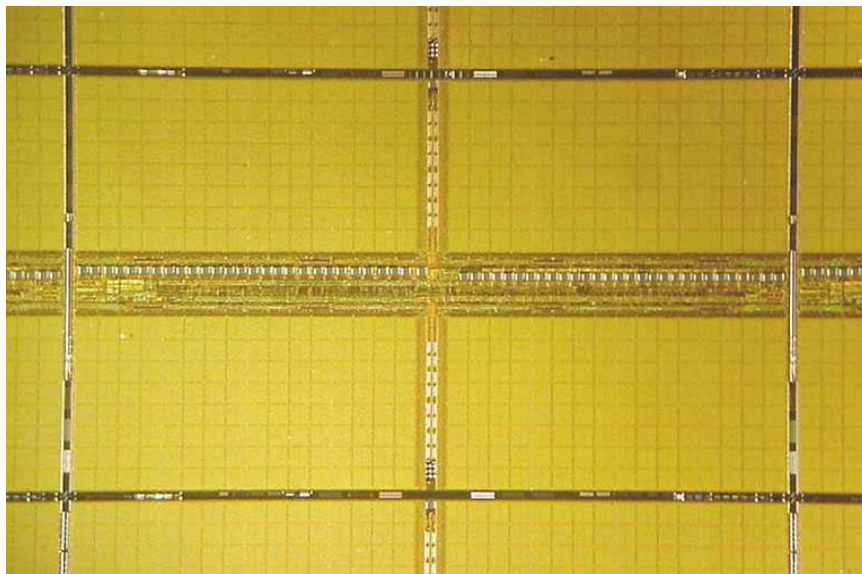


## ■ 集成度、规模：

模拟集成电路：每块芯片包含的晶体管数目

数字集成电路：每块芯片包含等效逻辑门  
2输入的NAND=4个晶体管

半导体存储器：每块芯片包含存储单元数





## 集成电路的分类

- 按实现方法分类
- 按电路规模分类
- 按导电载流子类型分类
- 按电路处理信号方式分类
- 按电路功能分类
- 按设计方法分类

# 集成电路的分类-1

## ► 按实现方法分类

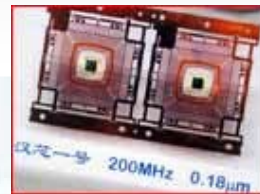
### 薄膜 集成电路

由金属和金属合金薄膜以及半导体薄膜制成元器件，布线连接构成的集成电路



### 半导体 集成电路

半导体单晶为基片，将构成电路的各元器件制作于同一基片上，布线连接构成的集成电路



### 混合 集成电路

由半导体集成电路，膜集成电路和分离元件中至少两种构成的集成电路





# 集成电路的分类-2

## ➤按电路规模分类

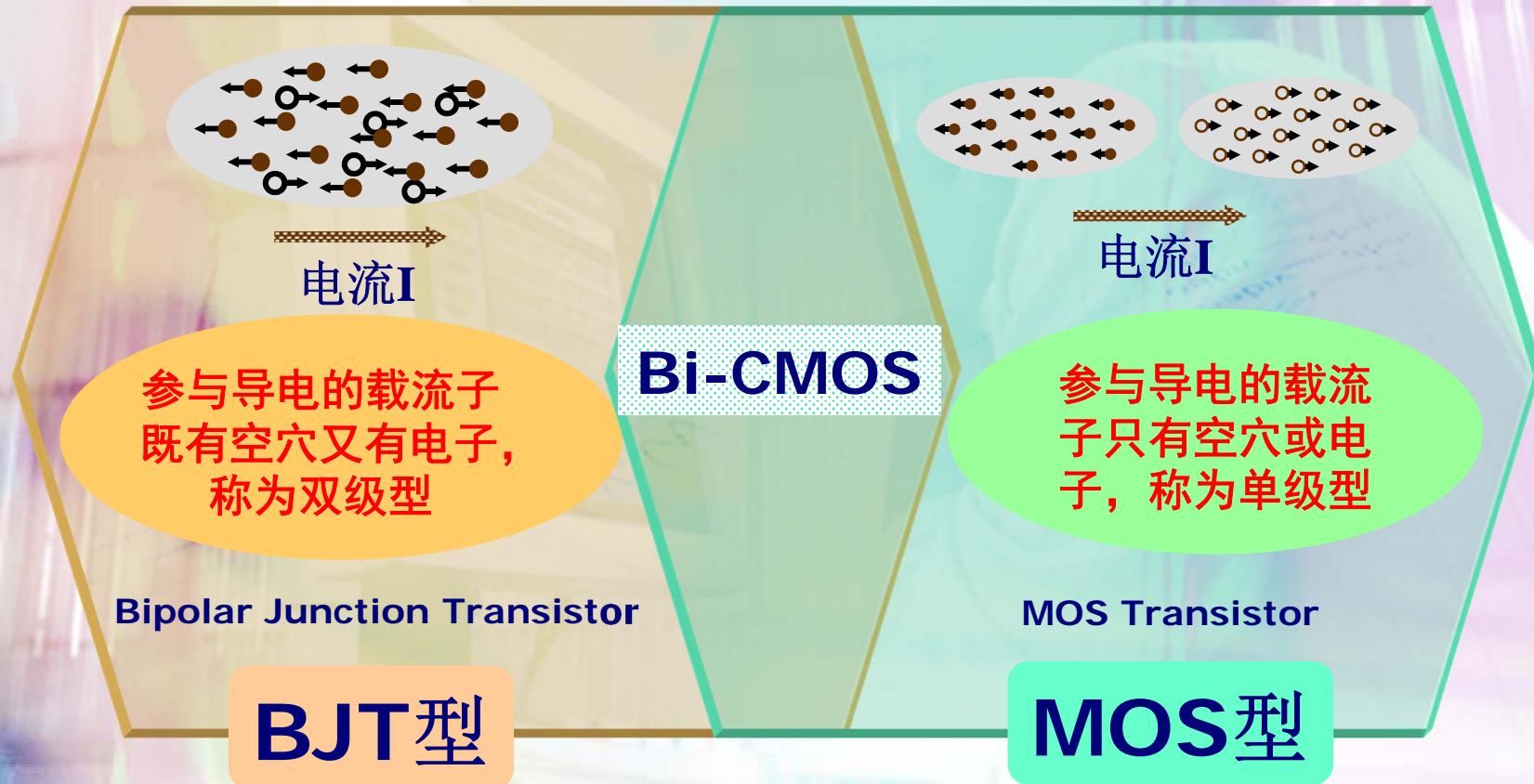
- ◆小规模集成电路 (Small Scale IC, **SSI**)
- ◆中规模集成电路 (Medium Scale IC, **MSI**)
- ◆大规模集成电路 (Large Scale IC, **LSI**)
- ◆超大规模集成电路 (Very Large Scale IC, **VLSI**)
- ◆特大规模集成电路 (Ultra Large Scale IC, **ULSI**)
- ◆巨大规模集成电路 (Gigantic Scale IC, **GSI**)

# 划分集成电路规模的标准

类别	数字集成电路		模拟集成电路
	MOS IC	双极 IC	
SSI	$<10^2$	$<100$	$<30$
MSI	$10^2 \sim 10^3$	$100 \sim 500$	$30 \sim 100$
LSI	$10^3 \sim 10^5$	$500 \sim 2000$	$100 \sim 300$
VLSI	$10^5 \sim 10^7$	$>2000$	$>300$
ULSI	$10^7 \sim 10^9$		
GSI	$>10^9$		

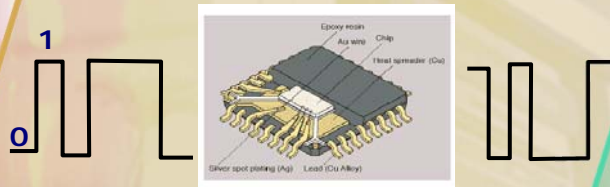
# 集成电路的分类-3

## 按导电载流子类型分类（实现工艺）



# 集成电路的分类-4

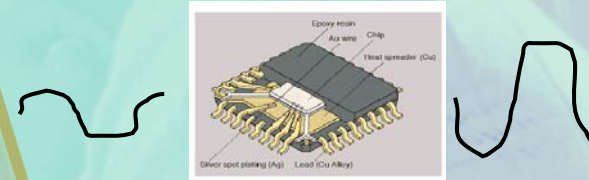
## 按电路处理信号方式分类



输入与输出量均为二进制的数字，不是高电平，既是低电平，在数字电路中表现为“0”，“1”。

数字集成电路

数模混合集成电路



输入与输出量为连续变化的模拟量

模拟集成电路

# 集成电路的分类-5

## ► 按电路功能分类

### 通用 集成电路

市场上能买到的具有通用功能的集成电路

例如：**74** 系列  
**4000**系列  
**Memory**芯片  
**CPU** 芯片等

### 专用 集成电路

针对某一电路系统的要求而专门设计制造的;具有特定电路功能,通常市场上买不到的

## ASIC

玩具狗芯片;  
• 通信卫星芯片  
• 计算机工作站  
**CPU**中存储器与微处理器间的接口芯片

### 专用标准 集成电路

有些专用芯片又有许多系统销售商在贩卖

## ASSP

例如：**Modem**  
**DVD decoder**  
**VCD decoder**

# 集成电路的分类-6

## ➤按设计方法分类

- 全定制（**Full Custom**）IC：硅片没有经过加工，其各掩膜层都要按特定电路的要求进行专门设计
- 半定制（**Semi-Custom**）IC：全部逻辑单元是预先设计好的,可以从单元库中调用所需单元来掩膜图形（标准单元方法和门阵列），可使用相应的**EDA**软件，自动布局布线。
- 可编程（**Programmable**）IC:全部逻辑单元都已预先制成,不需要任何掩膜,利用开发工具对器件进行编程,以实现特定的逻辑功能.分为可编程逻辑器件和现场可编程逻辑器件

集成电路是当今世界高科技  
电子产品的核心和灵魂，  
是国民经济信息化的重要  
支柱，也是国民经济自主  
健康发展的战略性新兴产业  
和基础性产业

不可能拥有现在的E生活



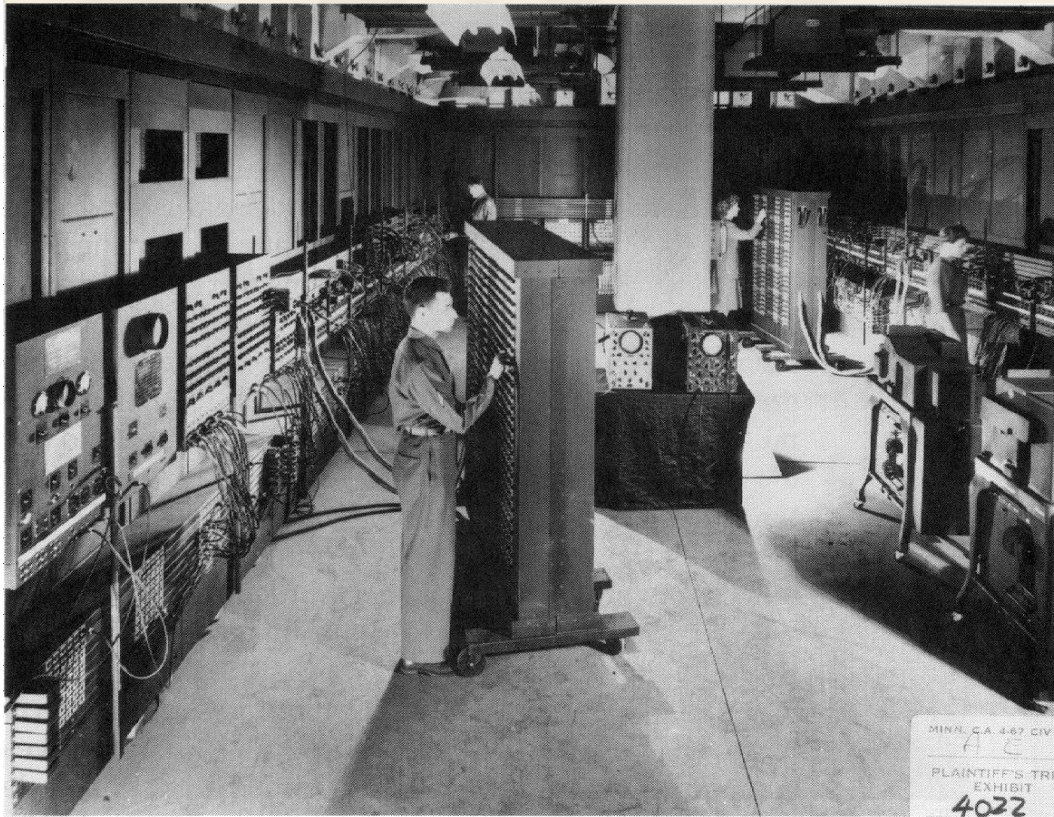
# 提纲--2

---

## 二. 集成电路的过去、现在与未来



# ENIAC - The first electronic computer (1946)



**Moore School, Univ. of  
Pennsylvania  
18,000 Transistors**

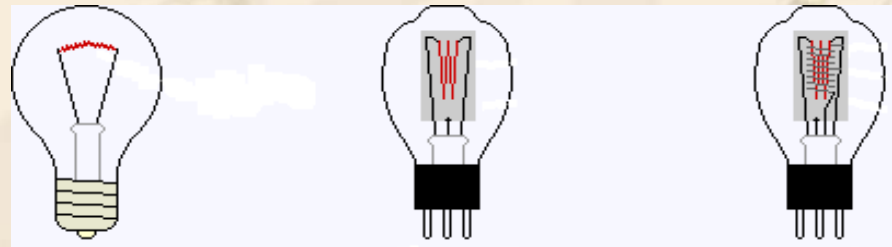
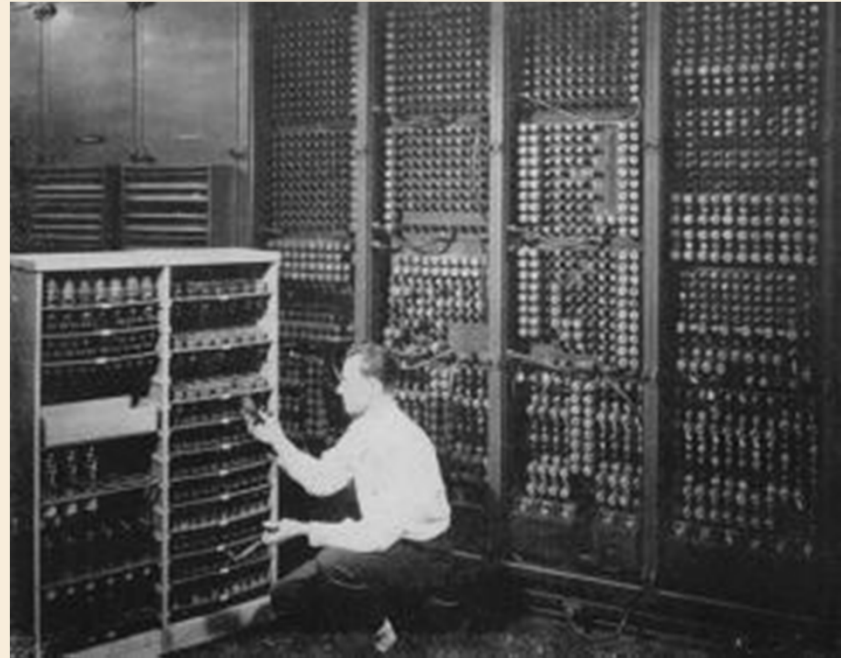
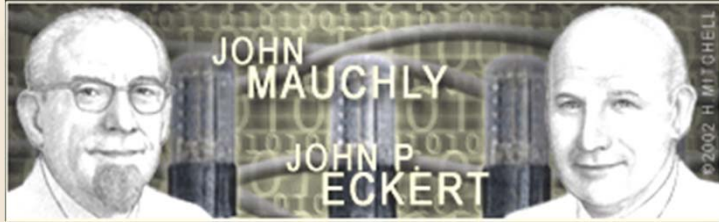
**Size: 24m × 6m × 2.5m**

**Speed: 5000times/sec;**

**Weight: 30T;**

**Power: 140KW;**

**Average run time: 7min**



# 世界上第1台计算机

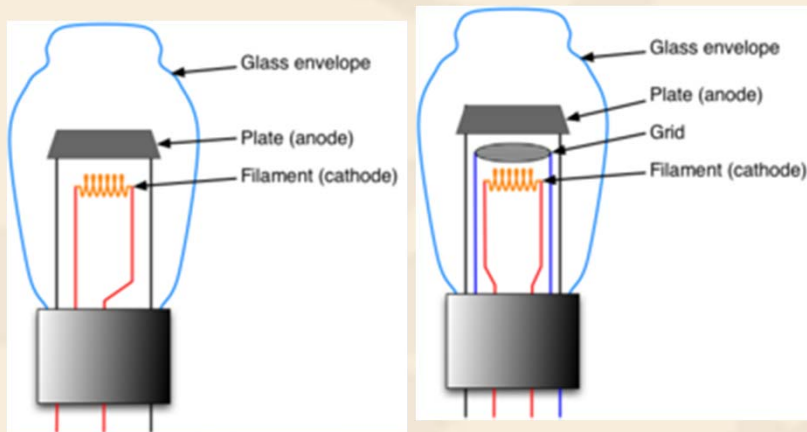
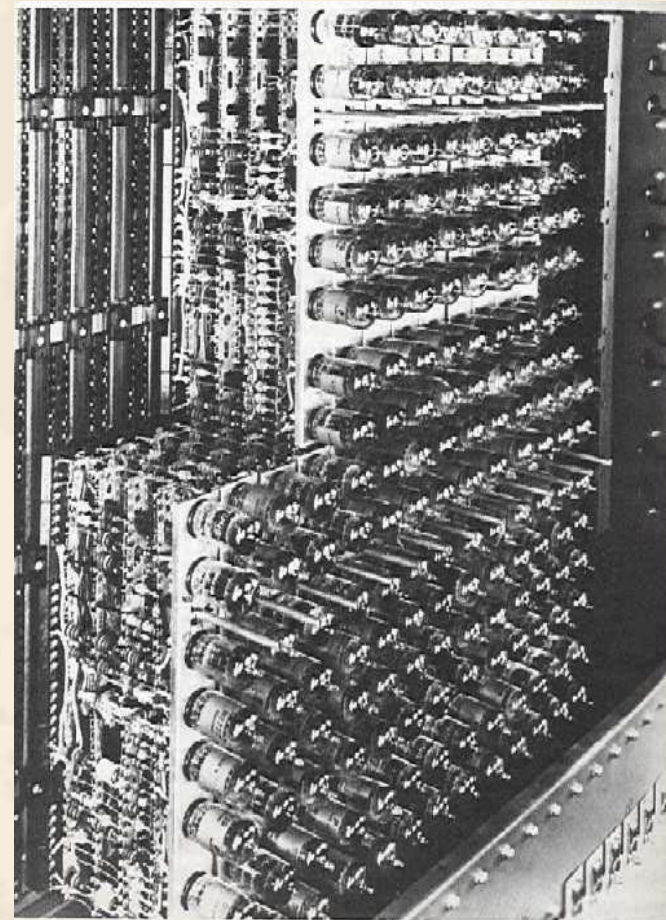
大小：长24m，宽6m，高2.5m

速度：5000次/sec；重量：30吨；

功率：25KW；平均无故障运行时间：7min

❏ 这样的计算机能够进入办公室、车间、连队和家庭？当时有的科学家认为全世界只要4台ENIAC

❏ 目前，全世界计算机不包括微机在内有几百万台，微机总量约6亿台，每年由计算机完成的工作量超过4000亿人年工作量



## 电子存储器

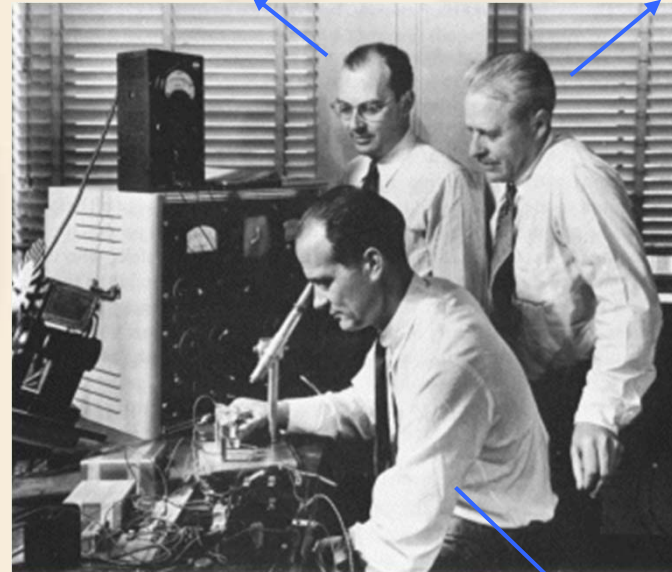
# 第一个晶体管

1947年12月23日第一个晶体管诞生于贝尔实验室

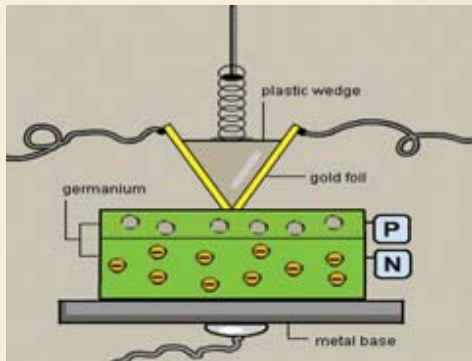


John Bardeen  
(1908—1991)

Walter Brattain  
(1902—1987)



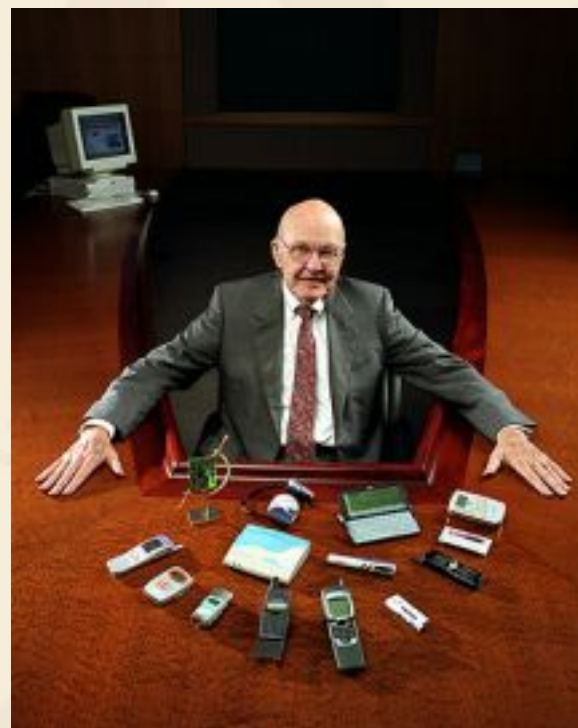
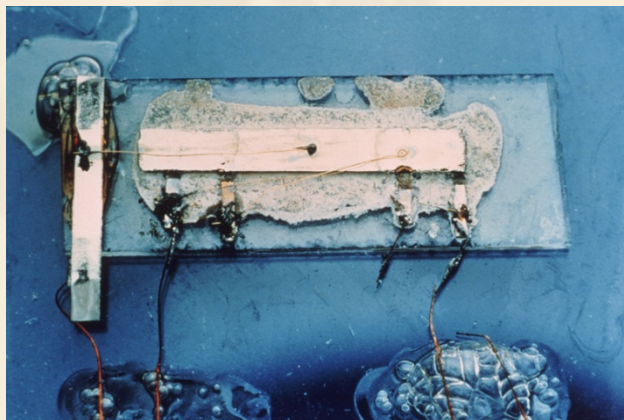
William Shockley  
(1910—1989)



获得1956年Nobel物理奖

# 第一个集成电路

1958.9，第一块集成电路诞生于TI公司。包含12个器件，制作于Ge晶片上。



Jack Kilby (1923-2005)

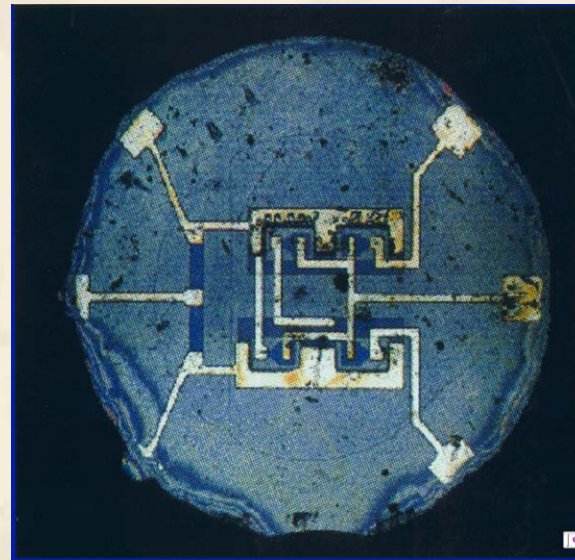
获得2000年Nobel物理奖

# 平面集成电路的发明

Fairchild在单片硅上成功研制了第一个基于掩膜照相技术的平面工艺集成电路。

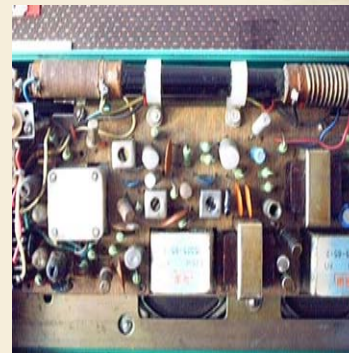


**Robert Noyce**  
(1927-1990)



**US Patent: 2,981,877 (1959.7)**

# 收音机





# 微电子发展史上的几个里程碑

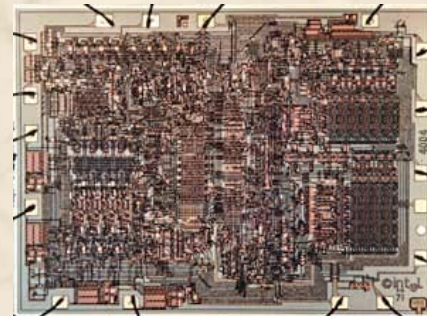
- ❖ 1962年Wanlass、C. T. Sah——CMOS技术 现在集成电路产业中占95%以上
- ❖ 1967年Kahng、S. Sze ——非挥发存储器
- ❖ 1968年Dennard——DRAM（动态随机存储器）
- ❖ 1971年Intel公司微处理器——计算机的心脏
  - ∞ 目前全世界微机总量约6亿台，在美国每年由计算机完成的工作量超过4000亿人年工作量。



施敏



萨支唐



4004

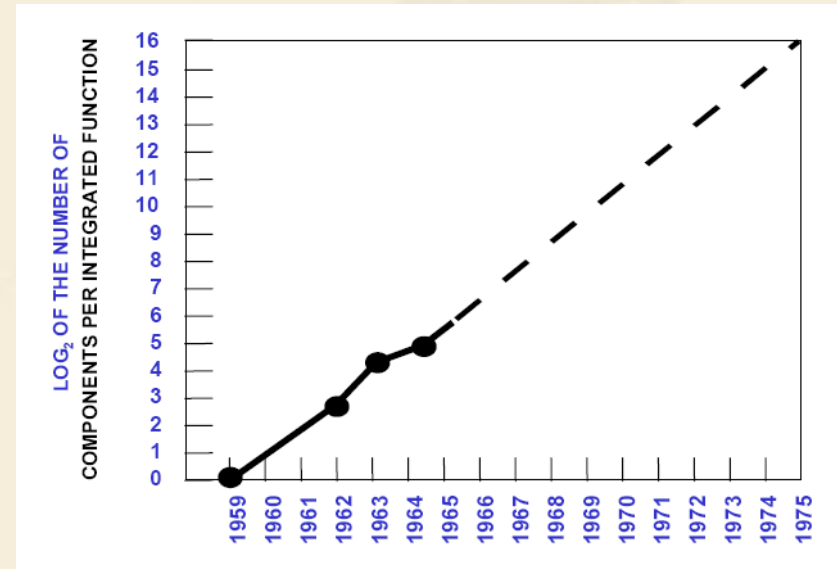
# 摩尔定律



Gordon Moore

The number of transistor per integrated circuit would double every 18 month.

一个集成电路上的晶体管数量每18个月将翻一番。

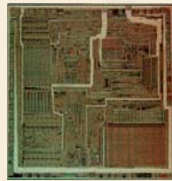


*Electronics*  
(1965.4.19)

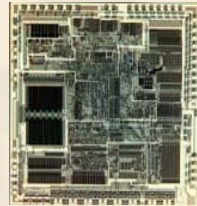
# Intel 微处理器的发展路线



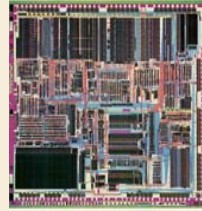
8080



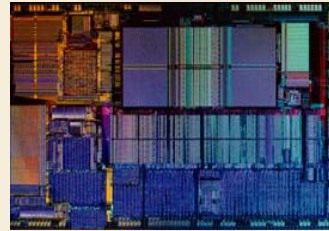
8086



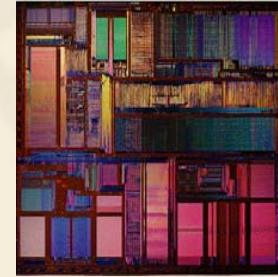
80286



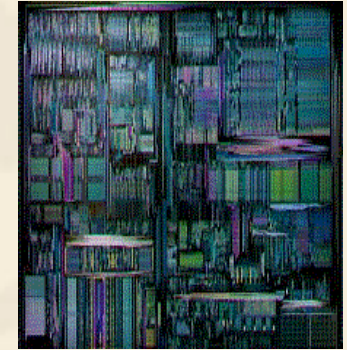
80386



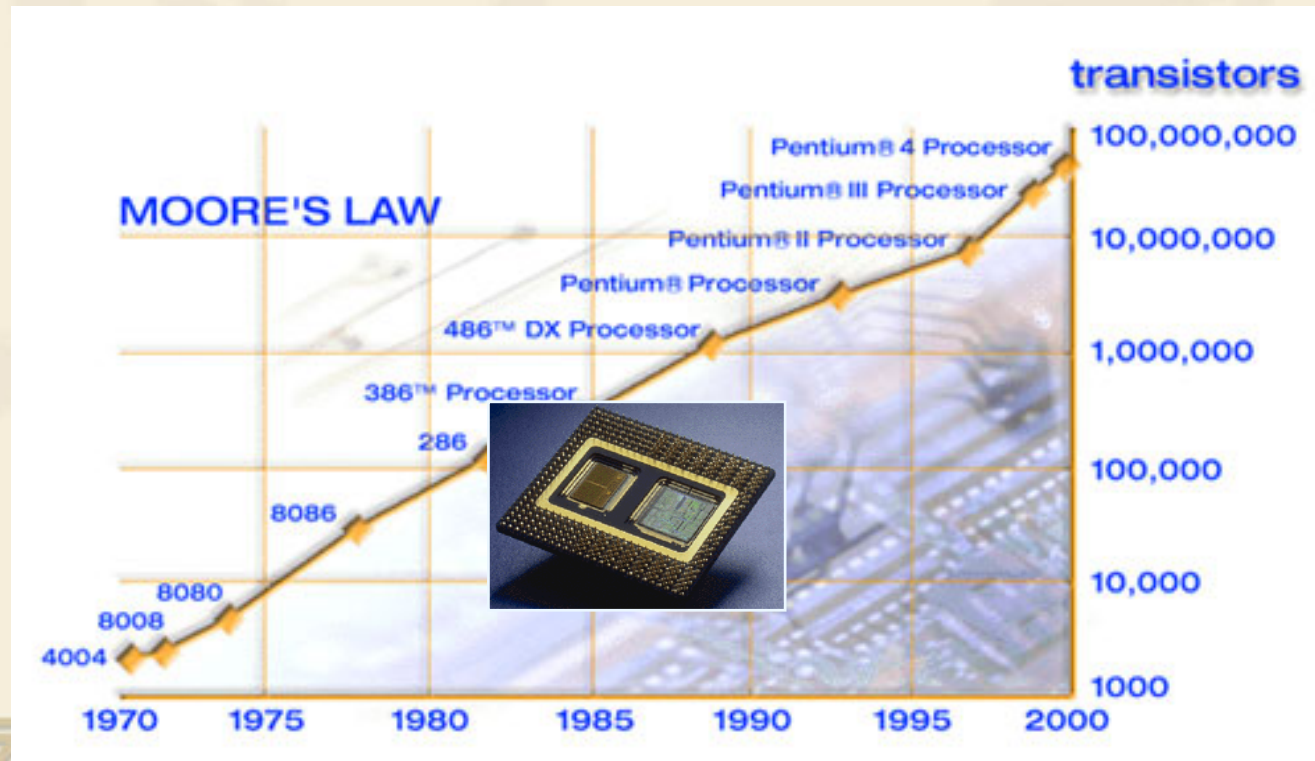
80486



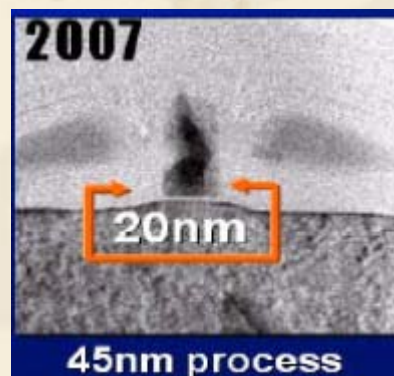
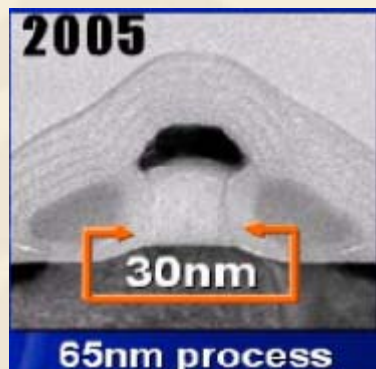
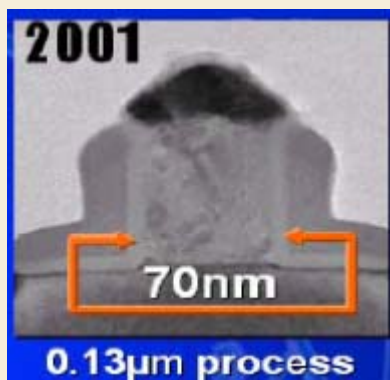
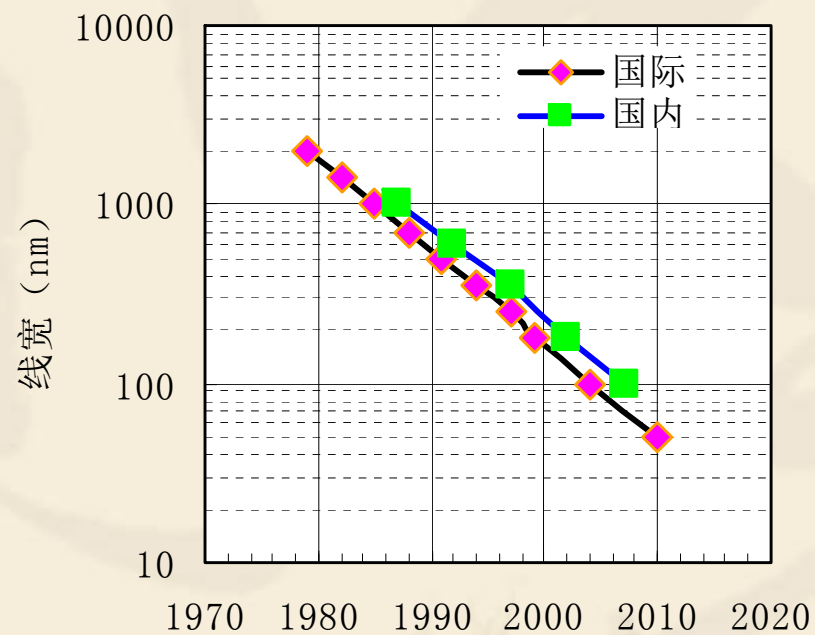
Pentium



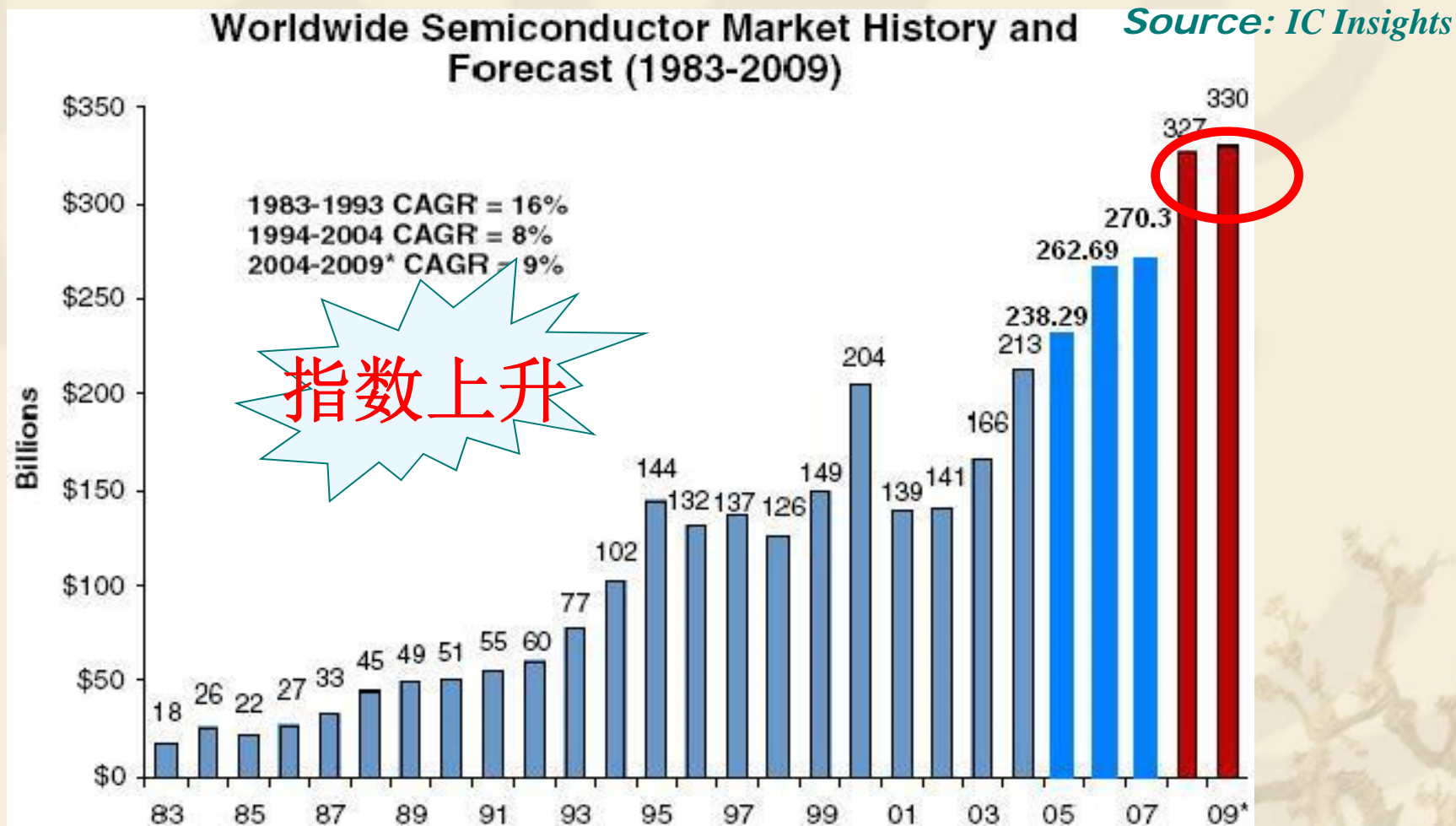
PentiumPro



# IC工艺节点的发展



# 世界半导体产业发展规模：2008/2007 $\uparrow$ 3.8%

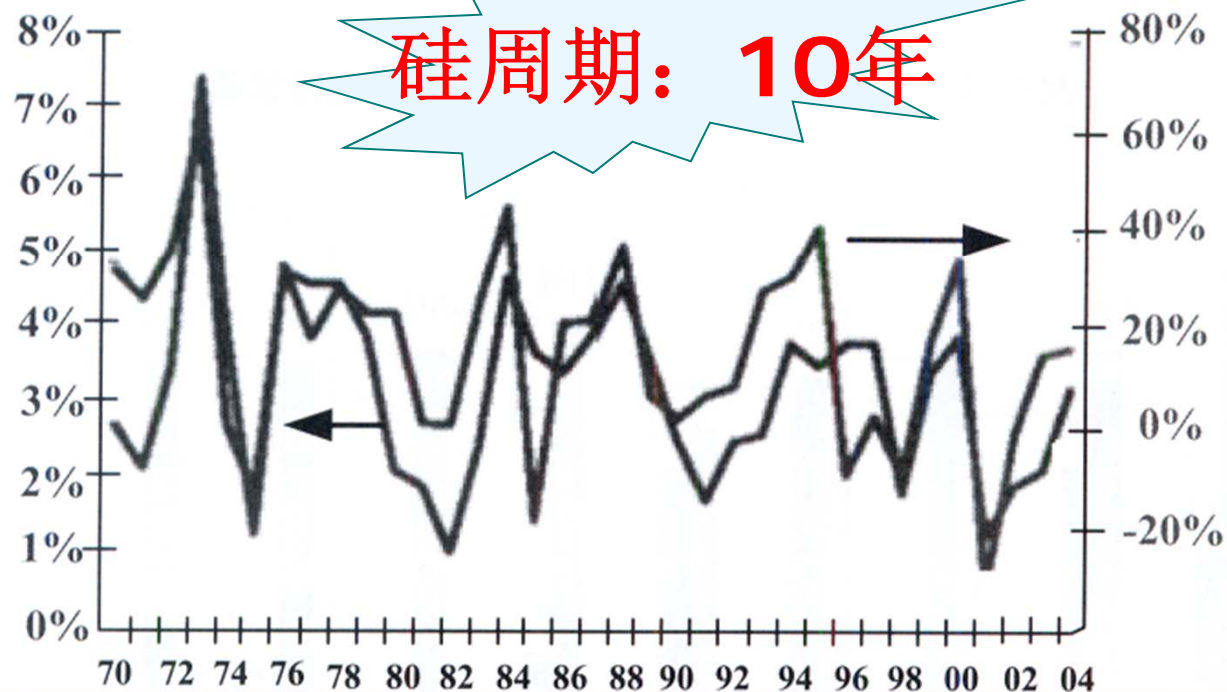


# 世界半导体产业增长率

## Global Economic Growth Drives Semiconductor Demand

Global GDP

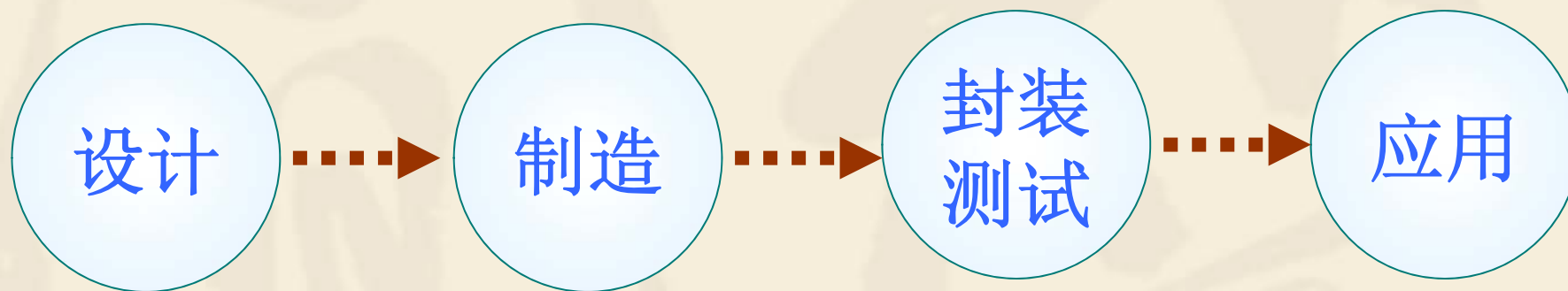
Semi Rev Growth



# 硅周期

- 第一个周期(1975-1984, 平均年增长率: 20.4%) :
  - 电脑和消费类电子; 4"和5 " ; 产值在几百亿美元国防工业、工作站、大型
- 第二个周期(1985-1995, 平均年增长率: 20.8%) :
  - 中小型电脑、PC机; 8 " ; 产值突破1000亿美元
- 第三个周期(1996-2005, 平均年增长率: 15.6%) :
  - 除PC机外, 网络和通讯装备, 特别是移动通讯装备; 8 "和12 " ; 产值3000亿美元
- 下个周期(2006-2015)
  - 微型便携式信息产品、消费电子产品

# 微电子产业链



集成器件制造商(IDM—Integrated Device Manufactory Co.) ~1970

通用电路生产商 1970~1990

Fabless

Foundry

封装测试厂 1990~

Chipless

2000~

集成电路产业的发展是市场牵引和技术推动的结果。不同的产业发展阶段，产业结构可以有不同的形式



# 产业集群特点

产业分类	产业链中位置	产业特点	投资金额（美元）	人均产值（万美元）
设计	上游	智力密集型	开发一款IC产品在百万到千万	70-100
制造加工	中游	资金、技术密集型具有高风险、高投入、高利润特点	12英寸生产线需20亿18英寸将高达100亿	12-50
封装测试	下游	劳动密集型	从千万到数亿	10
IDM	整条			30

## 2008年底全球12英寸生产线（70条，含在建）

地区	公司	产品	地区	公司	产品
日本 16条	东芝×3	SoC、FPGA、NAND	欧洲 4条	ST/NXP/Freescale	R&D
	瑞萨	SoC		Qimonda×2	DRAM
	NEC	SoC		IMEC	R&D
	松下	Logic		三星×6	DRAM/NAND、Logic
	富士通×2	SoC	韩国 9条	海力士×3	DRAM/NAND
	索尼×3	CCD、CMOS、Logic	台湾 地区 19条	台积电×3	Foundry
	ROHM	Logic		联电×2	Foundry
	Elpida×2	DRAM		茂德×4	DRAM
	Seiko	TFT		华邦	DRAM
	夏普	TFT		南亚	DRAM
英特尔×7	MPU	Inotera×2		DRAM	
TI×2	DSP	力晶×3	DRAM		
AMD	MPU	Rexchip×2	DRAM		
Spansion×2	R&D、NOR	华亚	DRAM		
美国 18条	Micron×2	DRAM	新加坡	特许	Foundry
	IMFlash×2	DRAM/NAND	中国3条	SMIC×3	Foundry
	IBM	SoC	美国	Albany	R&D



# 提纲 -- 3

---

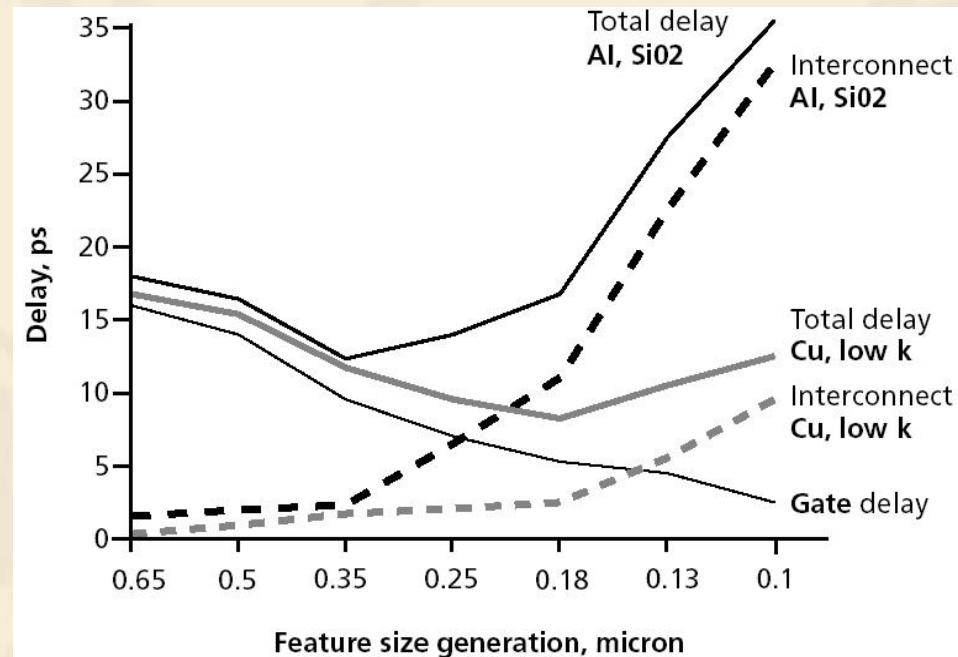
## 三. 集成电路面临的主要问题

# 互连线问题日益严重

❖ 互连延迟占主导地位:

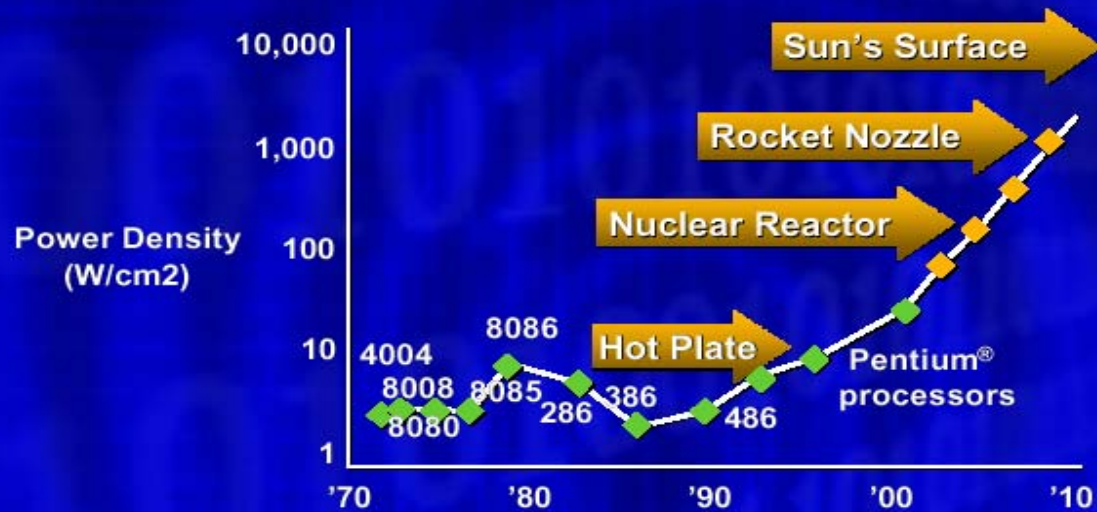
∞ Al-SiO<sub>2</sub> 系统~0.25μm

∞ Cu-lowk 系统~0.13μm



# 功耗急剧增加

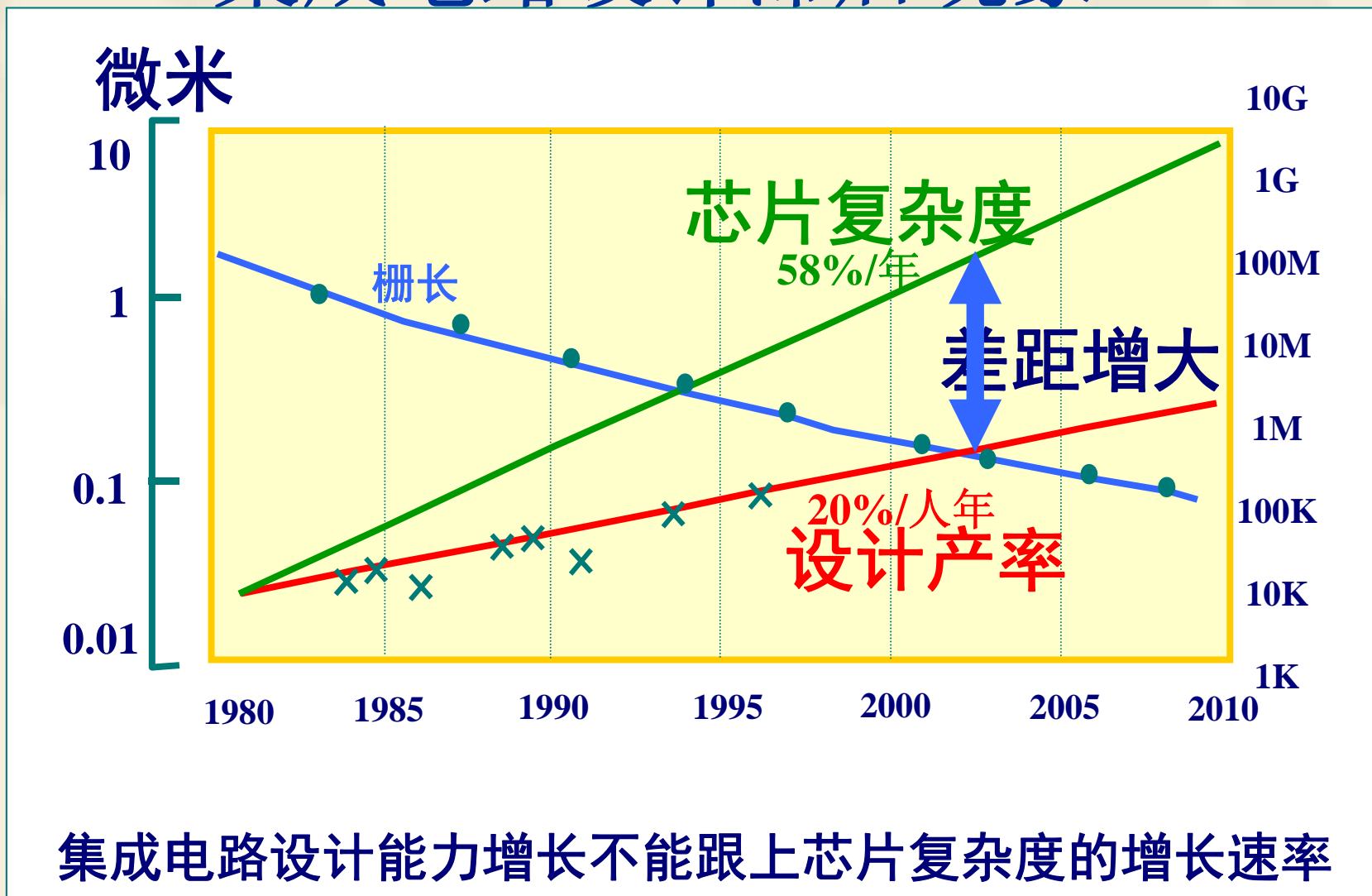
## Power Density Will Get Even Worse



### Need to Keep the Junctions Cool

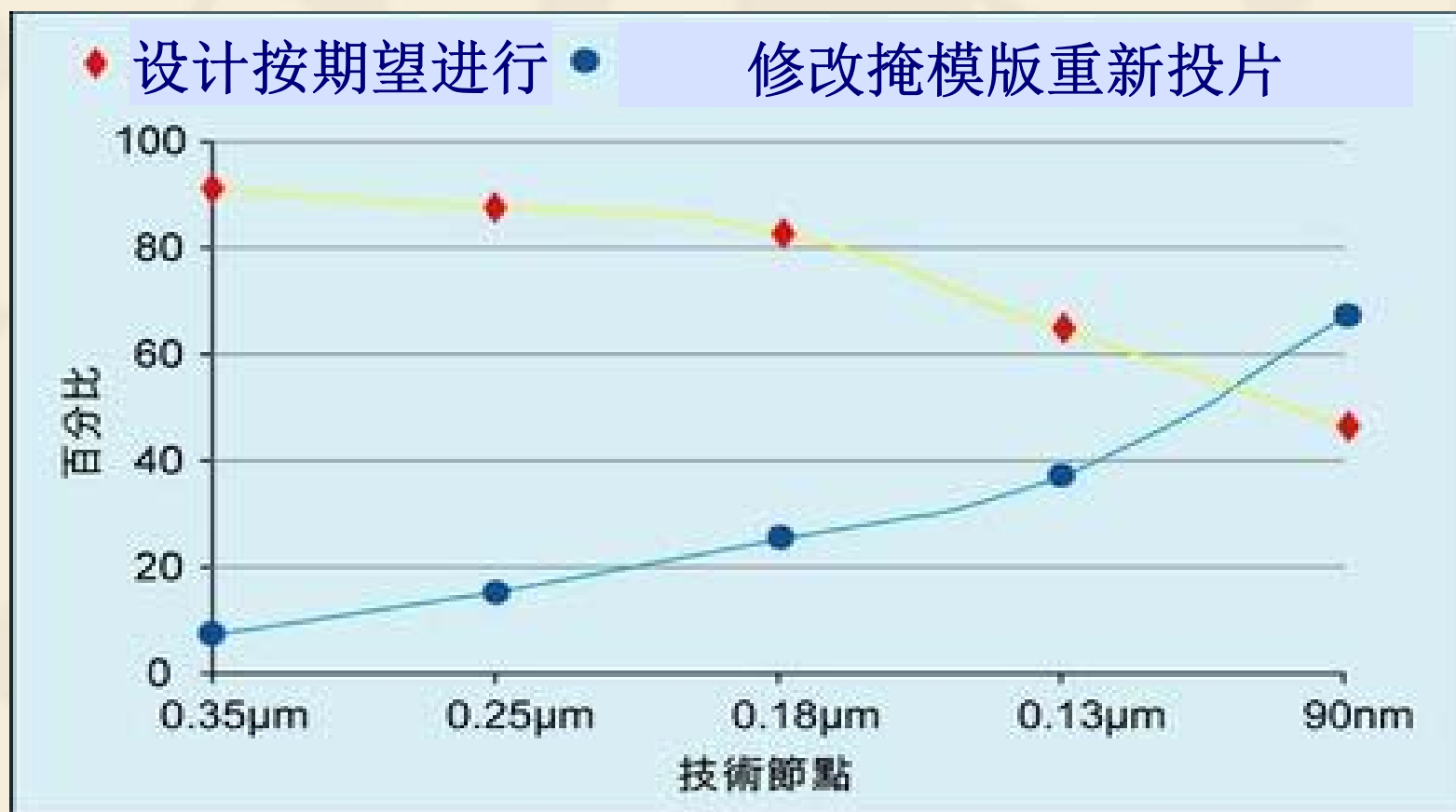
- Performance (Higher Frequency)
- Lower leakage (Exponential)
- Better reliability (Exponential)

# 集成电路设计滞后现象





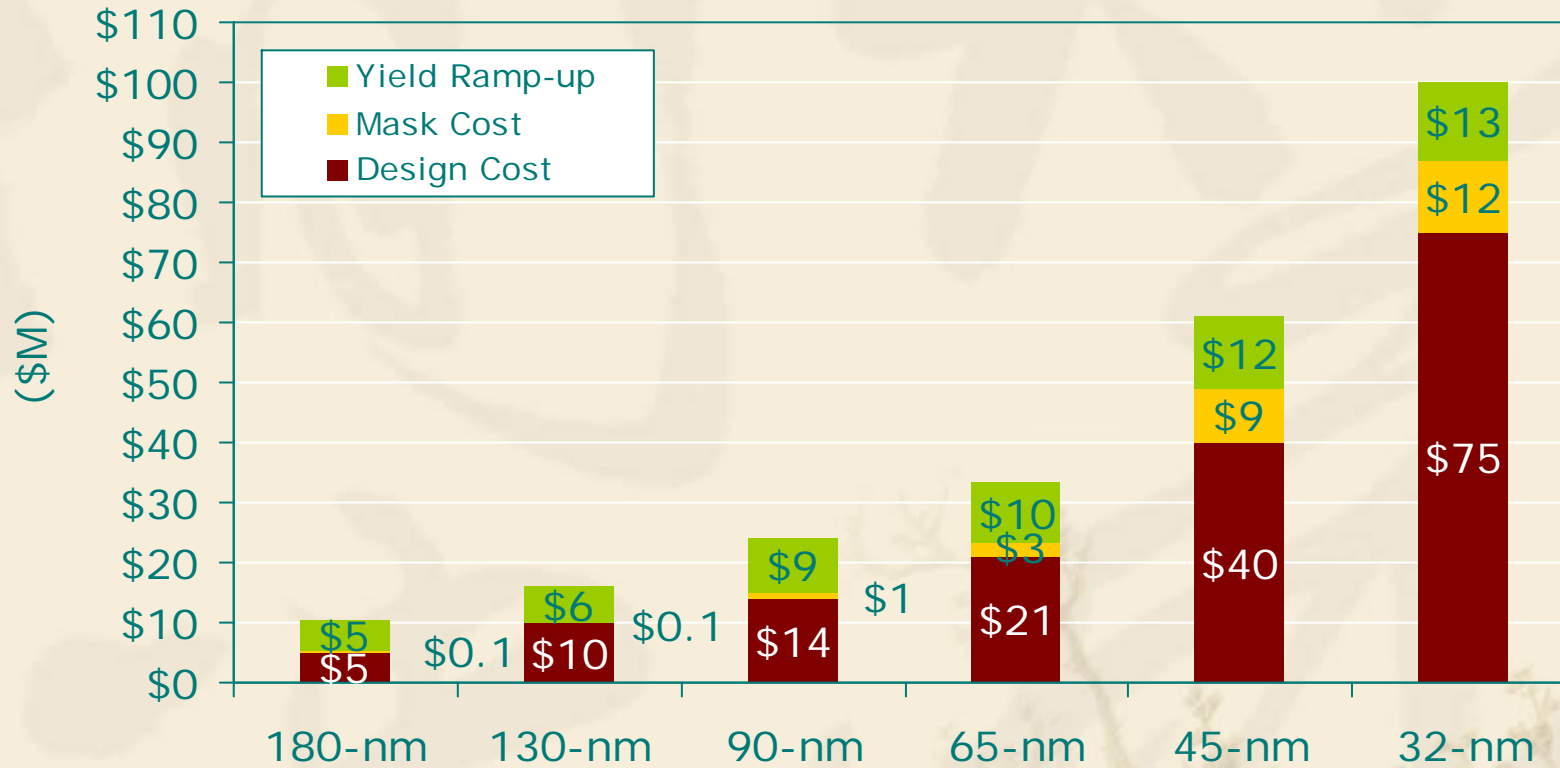
# 成品率问题日益突出





# 制作费用

IC Cost by Process Node



**300mm Fab Costs: 45-nm = \$3B**

**32-nm = \$10B**

**30亿**

**100亿**

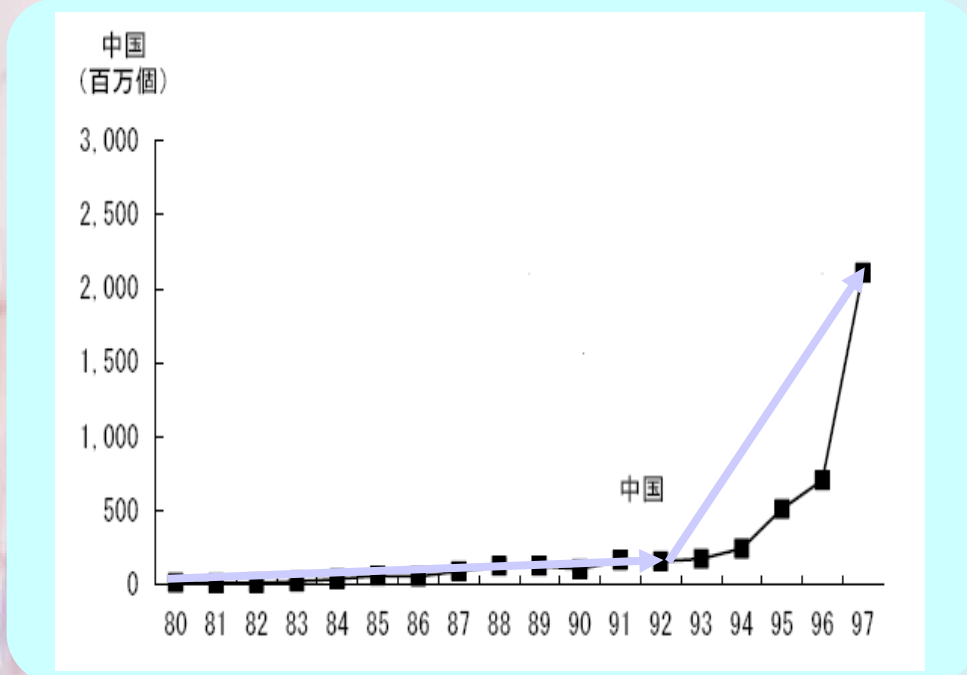


# 提纲 -- 4

---

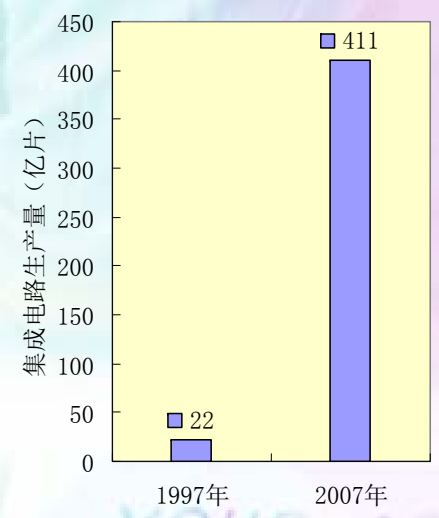
## 四. 集成电路在我国现状

# 集成电路技术在我国现状

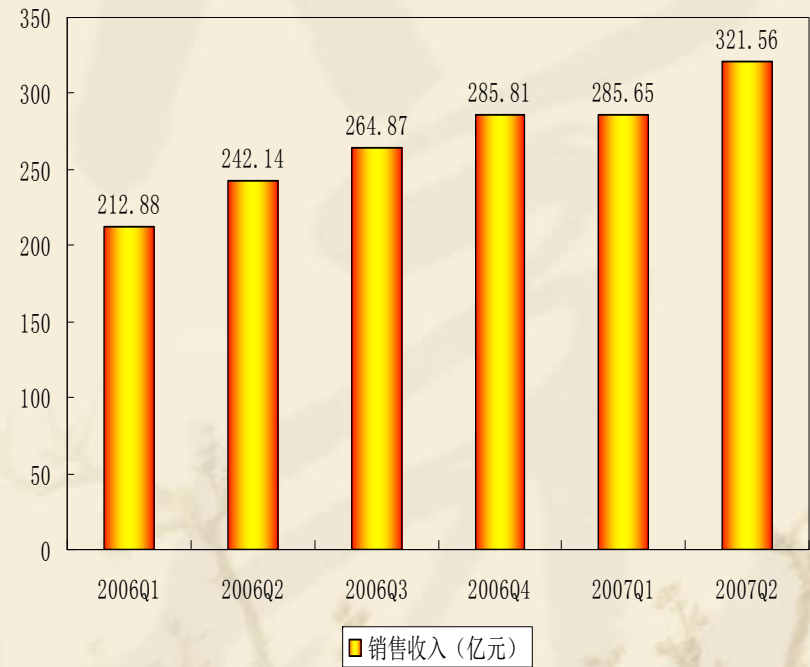
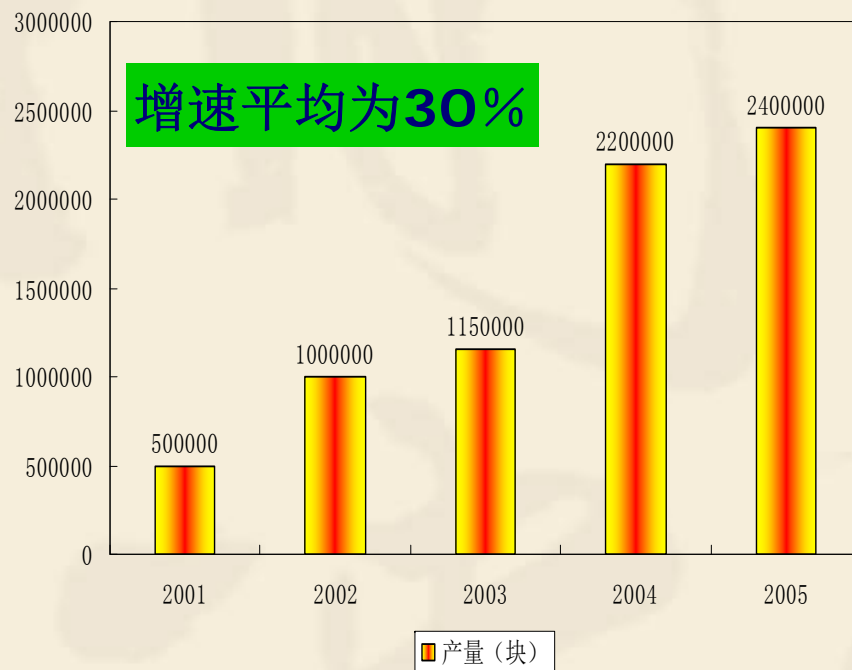


- 历史悠久 1950 ~
- 较长的低迷期 1950~1978
- 缓慢增长 1978~1992
- 急速增长 1992~1997
- 腾飞 1997~2007

中国集成电路生产量的推移



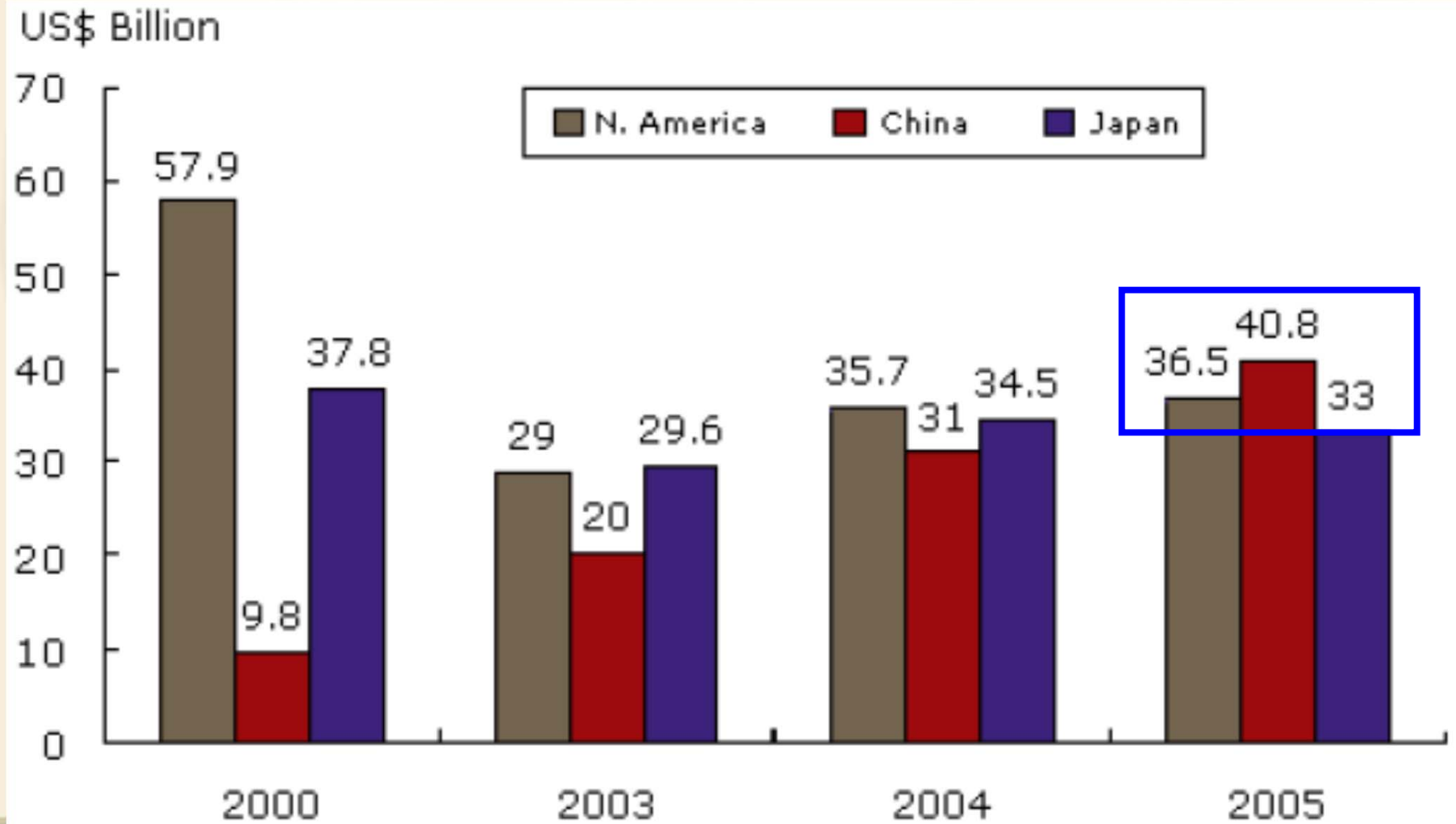
# 集成电路产销量



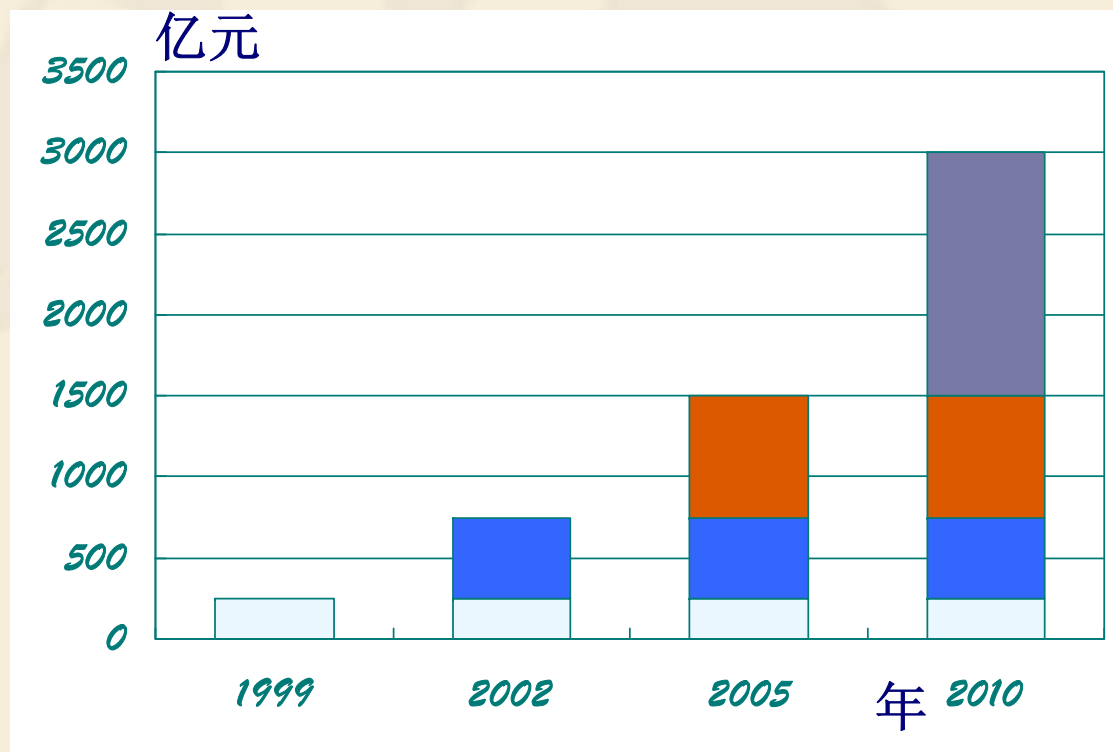
∞ 我国从2005年起成为世界最大芯片市场

❖ 市场规模(bill. USD)超过北美和日本

Source: IC Insight



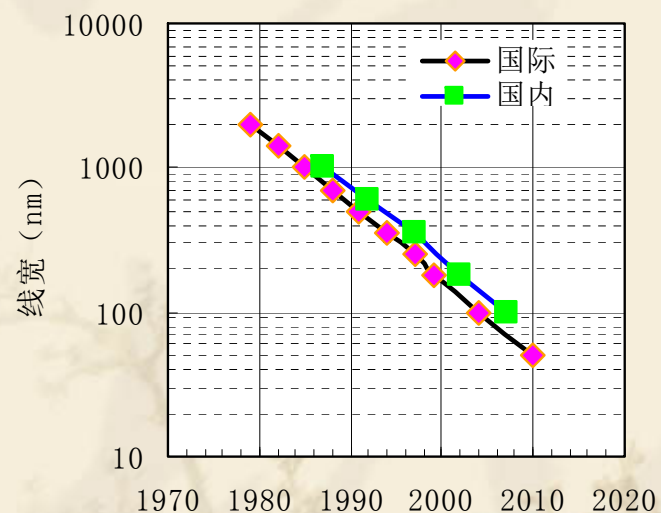
# 中国集成电路产业的累计投资额



根据SEMI最新发布的市场研究报告：中国主要半导体晶圆厂在**2006-2008**年期间的资本投入超过**98**亿美元，这一数字高于**2001-2005**五年间**87**亿美元的总资本投入。

# 中国微电子产业的发展现状

- ❖ 2000~2005:
  - ⌚ 制造主流技术从2000年的0.5 $\mu$ m演进到2008的0.18 $\mu$ m，前进了三代；
  - ⌚ 导入技术从2000年的0.25 $\mu$ m到2005的95nm，也前进了三代；设计的主流技术目前达到0.18 $\mu$ m，
- ❖ 2006上半年:
  - ⌚ IC设计增长率：41.8%
  - ⌚ 封装测试增长率：43.8%
  - ⌚ 芯片制造增长率：62%。
- ❖ 2010年:
  - ⌚ 集成电路市场将增长25%
  - ⌚ 销售额达到2800亿人民币
  - ⌚ 国内自给率将上升至30%
  - ⌚ 中国将成为全球半导体业第二大市场。



# IC产业化基地

## 中华人民共和国地图



国家集成电路设计西安产业化基地

西安集成电路设计专业孵化器



国家集成电路设计北京产业化基地

Beijing National Integrated Circuit Design Industrial Center



国家集成电路设计杭州产业化基地

National Intergrated Circuit Industrialization camp, Hangzhou



国家集成电路设计深圳产业化基地

广东省集成电路设计与生产基地（深圳）



国家集成电路设计成都产业化基地

National integrated circuit design industrialization camp, Chengdu



国家集成电路设计无锡产业化基地

主办：国家集成电路设计无锡产业化基地管理委员会办公室  
无锡国家集成电路设计基地有限公司



上海集成电路设计研究中心



西部地区

北京、天津  
环渤海地  
区

乌鲁木齐  
Urumchi

中国西部

北京  
Beijing

连云港  
Lianyungang

上海  
Shanghai

成都  
Chengdu

西安  
Xi'an

广州  
Guang Zhou

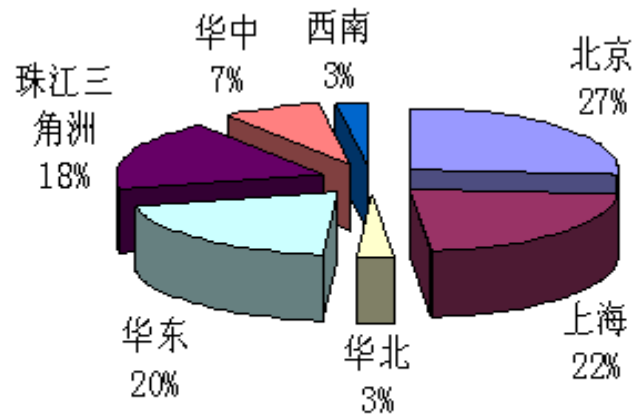
重庆  
Chongqing

香港  
Hong Kong

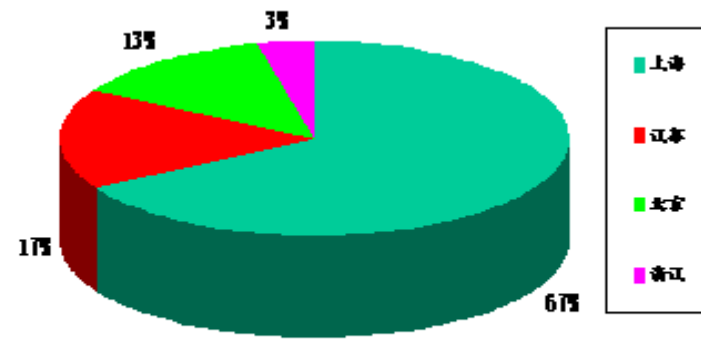
以广州为  
中心的  
珠江三角洲

以上海为  
中心的  
长江三角洲

# 我国IC企业分布



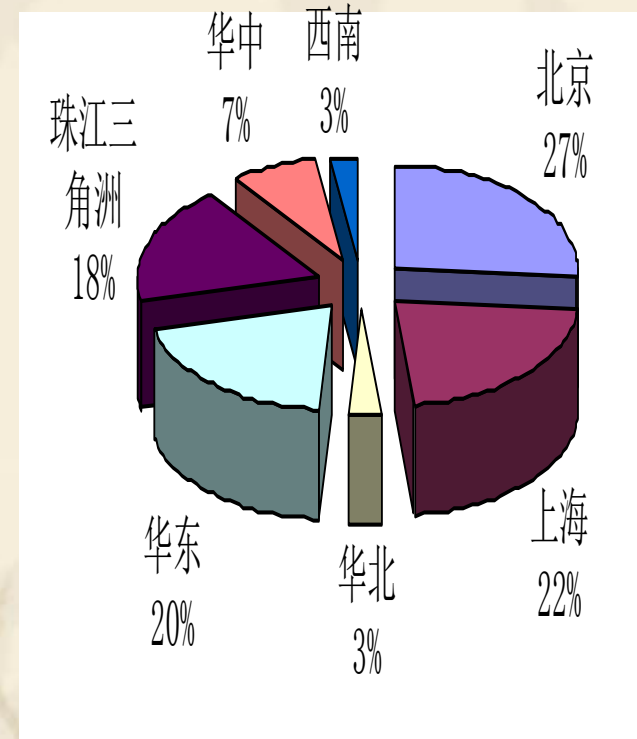
a) IC 设计业



b) IC 制造业

# 中国的IC设计业

年	从业人数	从业公司
2001	4000	98
2002	15000	389
2005	约50000	500以上
2010	30万	



# 中国的IC制造业

## 拟建和在建的IC生产企业

生产线项目	建设进度
中芯国际上海12吋生产线	在建
中芯国际成都8吋生产线	在建
中芯武汉12吋生产线	在建
华虹NEC12吋生产线	扩建和增建
华虹12吋生产线	拟建
台积电上海8吋生产线	扩建
茂德重庆8吋生产线	在建
华润上华8吋生产线	拟建
无锡海力士—意法半导体12吋生产线	拟建
Intel大连12吋生产线	拟建

# 微电子人才缺口

- ❖ 2004年我国本科微电子学专业有31个专业点，2012为74个。
- ❖ 2012年，集成电路设计和微电子专业在校生约15000人（本科10000+硕士5000）。

# 中国IC产业面临的挑战

- ❖ 自主创新能力差
- ❖ 国内供需矛盾突出
- ❖ 产业链失衡
- ❖ 人才、资金不足
- ❖ 研发体系和市场体系不完善。

飞速发展的技术水平

迅速扩大的产业规模

数量奇缺的专业人才

前所未有的发展空间

机遇与挑战并存!



# 课程内容

- 半导体集成电路的基本概念
- 双极型集成电路（基本工艺、基本电路单元、版图设计）
- **CMOS**集成电路（基本工艺、基本电路单元、版图设计、存储器）
- 模拟集成电路（运算放大器、**D/A**，**A/D**转换）

# 课程要求

教材： 半导体集成电路

余宁梅 杨媛 编著 科学出版社

参考书： 数字集成电路——电路、系统与设计  
电子工业出版社

学时： 理论课 64学时

成绩： 考试 80% 平时+作业 20%

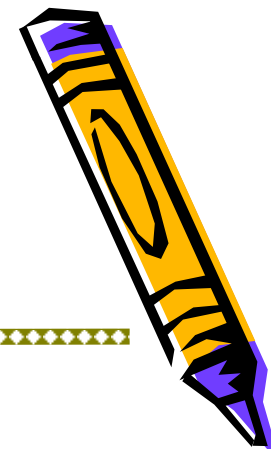


# 『转』途漫漫

一步一步  
踏踏实实  
走出自己的  
-----成功之路



# 作业



- 1 简述什么是集成电路?
- 2 集成电路是如何分类的?
- 3 名词解释:

集成度, 特征尺寸、晶圆尺寸 (**Wafer size**)  
芯片尺寸 (**Die size**)、 摩尔定律、**ASIC**、**LSI**。



课程网站: <http://ic.xaut.edu.cn>