

# 回顾发展历程 领悟发展哲理

许居衍

中国电子科技集团第58研究所

# 提纲

- 前言(既要近赏更需远眺)
- 照亮发展道路的点点星光
- 点点星光显现的发展哲理
- 发展哲理透露的几点启示
- 总结(在延伸中寻找突破)

仙人洞

逻辑推理  
探究发展大趋势

不识庐山真面目  
只缘人在此山中

锦绣谷

大天池

◆临空浏览，  
◆近赏细微，

方能统观全局  
可以抽象哲理

# 提纲

- 前言(既要近赏更需远眺)
- 照亮发展道路的几点星光
- 几点星光显现的发展哲理
- 发展哲理透露的几点启示
- 总结(在延伸中寻找突破)

# History of the integrated circuit

- 1940s - setting the stage - the initial inventions that made IC possible.

奠定基础

- 1950s - invention - the invention of the IC

- 1960s - product and technology advances
  - MOS, CMOS and BiCMOS, Moore's law

激情创新

- 1970s - new products to drive the market
  - EPROM, DSP, DRAMs and MPU, MOS scaling.

- 1980s - technology advances and new products
  - EEPROM and Flash

昂首阔步

- 1990s - technology marches on
  - further refinements in technology.

- 2000s - what will the new decade bring?
  - as the decade unfolds we will continue to update this section..

走向成熟

## 奠定基础

Tr, Si, CMOS, Planar, IC...

器件“物理基础”、

“基本结构”、

“制造工艺”和“集成方法”

## 激情创新

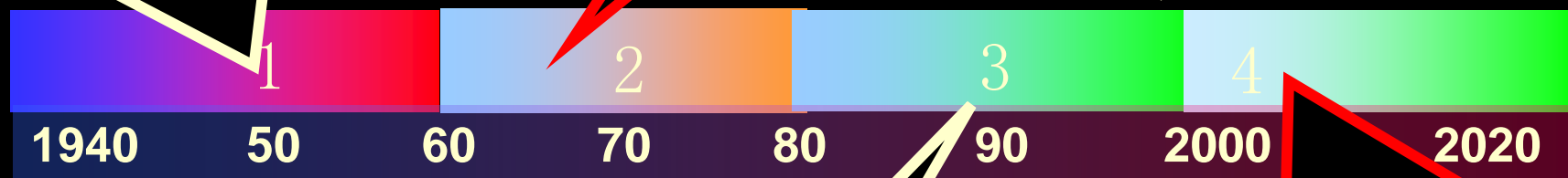
M-L, Scaling, M-Soft, PC,

MPU, 64kDRAM-VLSI

产业“技术扩散”、

“发展引擎”、

“装备和设计工具”“应用技术”



## 昂首阔步

晶圆尺寸、集成规模、产业

规模... 顺延扩大;

产业技术按“路线图”发展!

('83-84: 1st-CMOS-  
DRAM; E2; Flash)

## 走向成熟

Post-ML, M-Core, Hi-k/M-

Gate, MtM

共识技术寿限、双核年

Fabless 进入前十大

体硅、平面结构延伸到22nm

# 提纲

- 前言 (既要近赏更需远眺)
- 照亮发展道路的几点星光
- 几点星光显现的发展哲理
- 发展哲理透露的几点启示
- 总结 (在延伸中寻找突破)

小是美  
简为佳

# 发展哲理

小与简  
辩证统一

目标：  
使命：

“小”就是美

崇尚“简约”

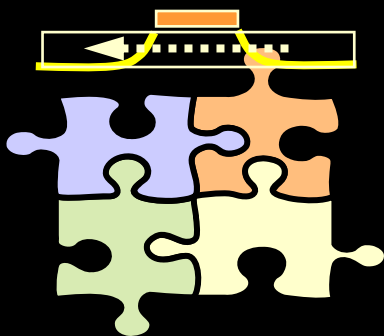
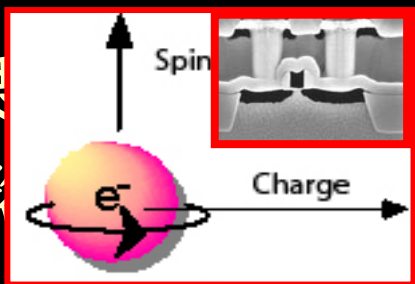
倚重“左脑”

集成与融合

平台方法学

逻辑的延伸

思  
路



感性  
跳跃  
天才脑

理性  
推理

普通脑



“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

机制

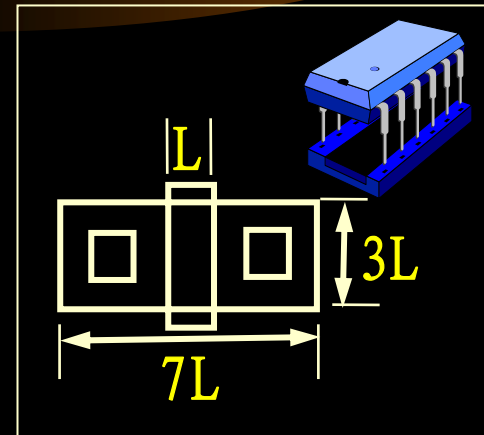
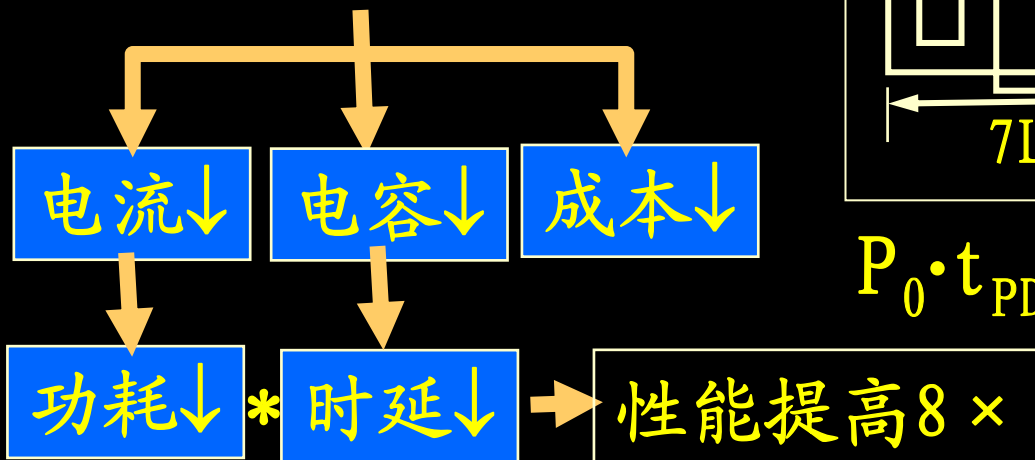
性能

成本

功能

融合

$L \Rightarrow 1/k$ , 若缩小  $2 \times$   
 $A \Rightarrow 1/k^2$ , 则缩小  $4 \times$



$$P_0 \cdot t_{PD} \Rightarrow 1/k^3$$

“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

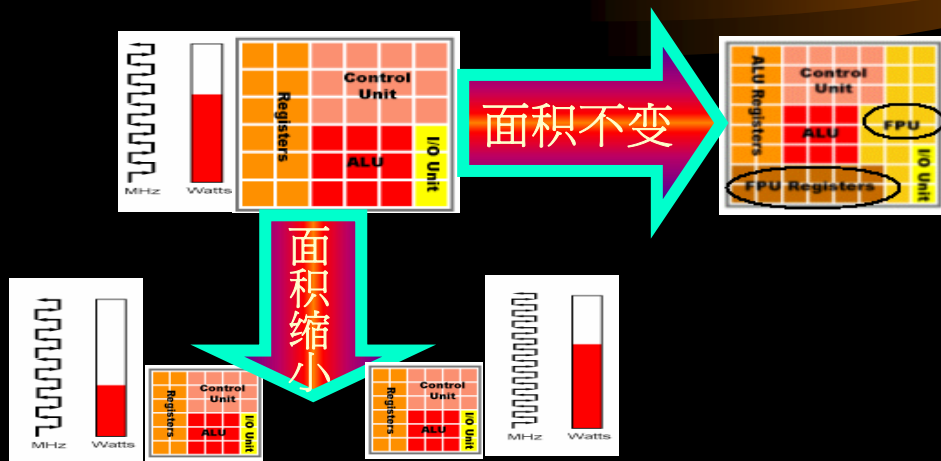
机制

性能

成本

功能

融合



小(尺寸)与大(规模)螺旋推进  
低(价格)与高(性能)辩证统一

“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

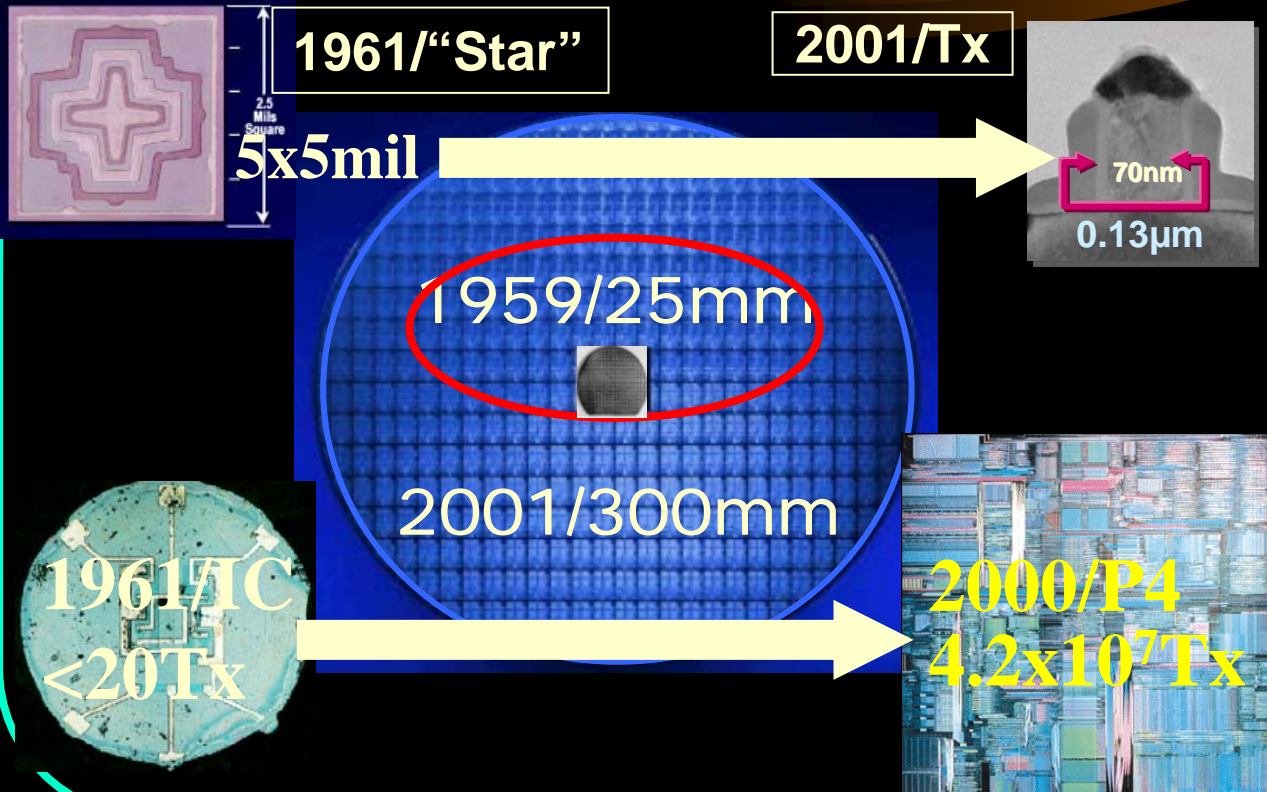
机制

性能

成本

功能

融合



“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

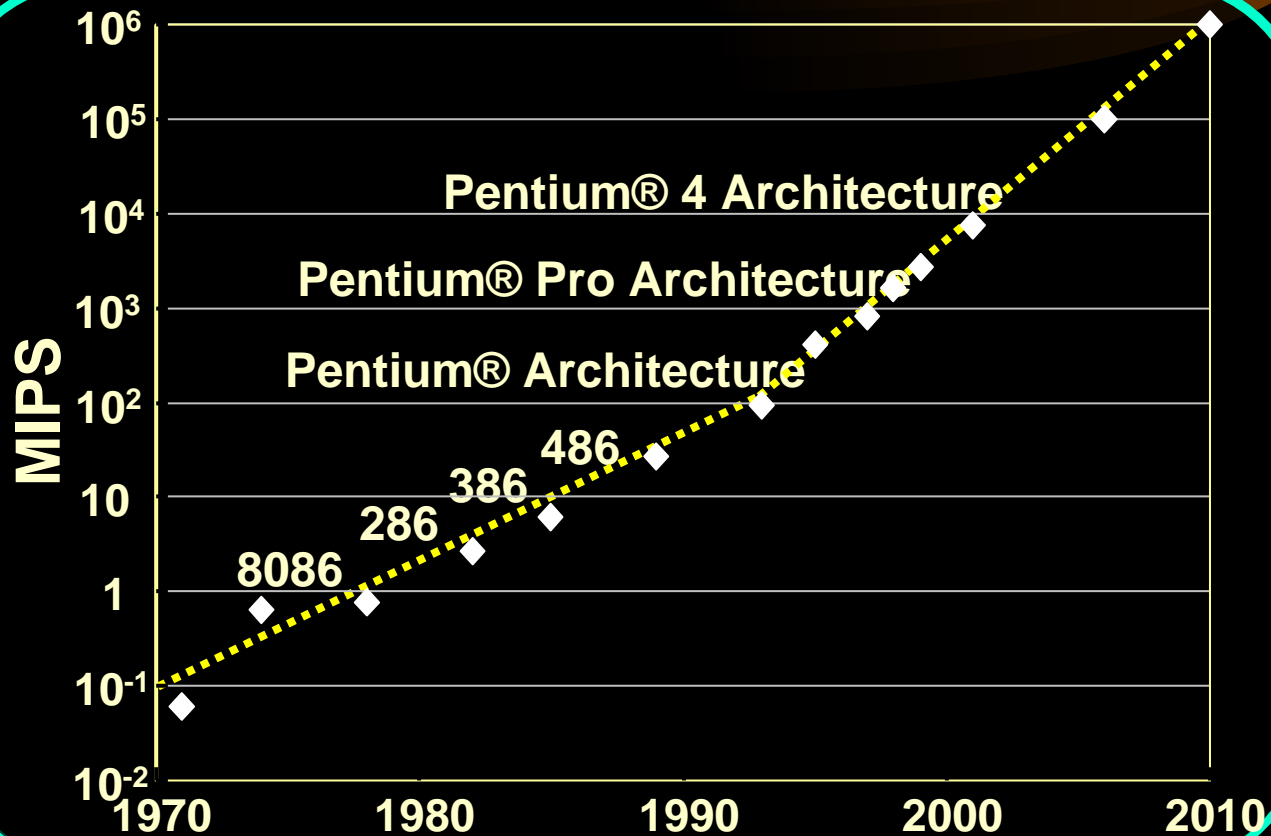
机制

性能

成本

功能

融合



“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

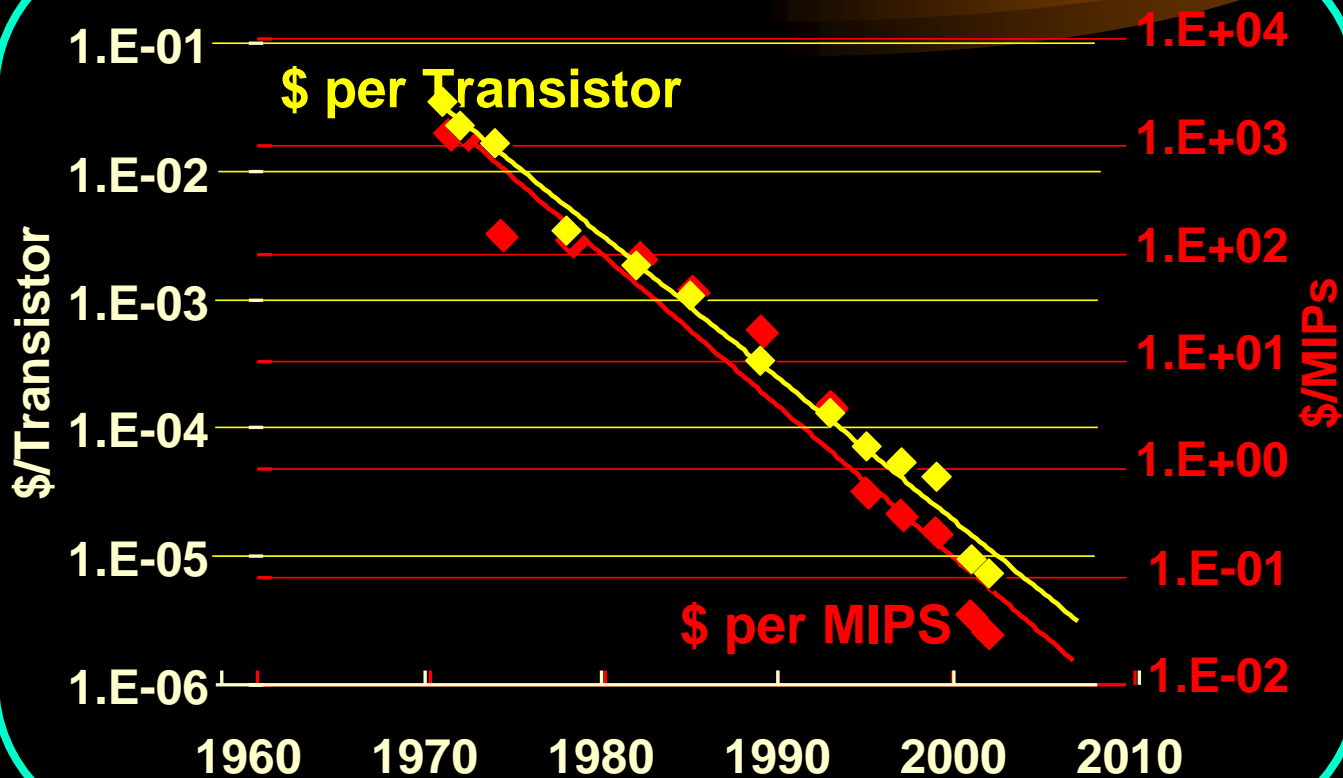
机制

性能

成本

功能

融合



“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

机制

性能

成本

功能

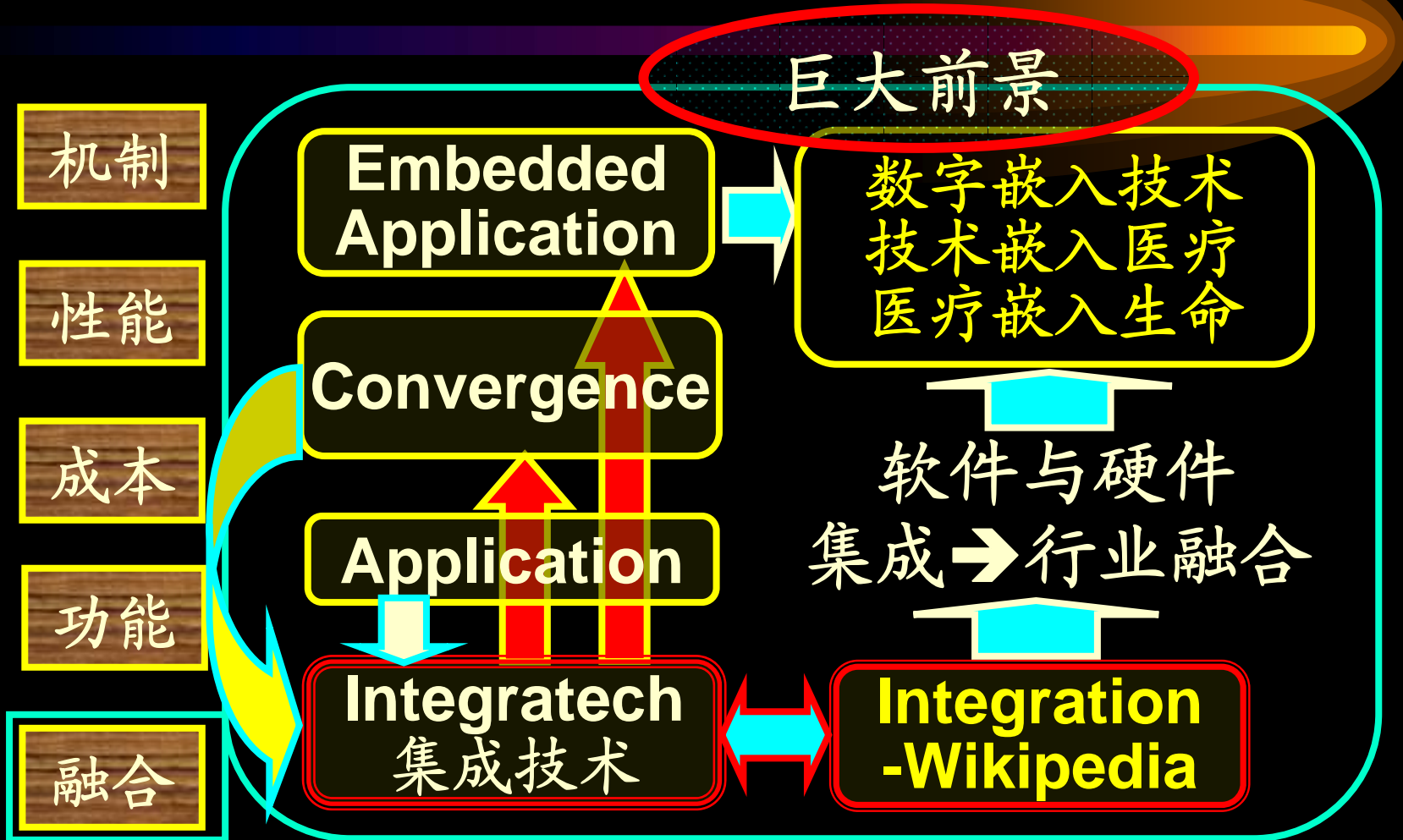
融合



“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”



“小”就是美

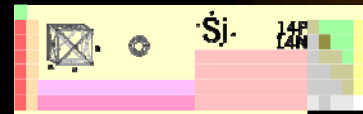
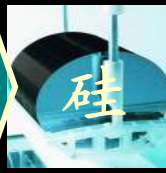
崇尚“简约”

倚重“左脑”

材料



到



Diamond cubic  
Band gap 1.12eV  
Melting point 1414 °

结构

自然恩赐了一个奇异的材料

制程

✓ 既便宜又丰富；既简单又复杂

✓ 机械、化学、电学性能好

设计

✓ 自然生长与本体匹配、低表面态、多才多艺的SiO<sub>2</sub> (器件工艺简约化)

应用

✓ 人类对之了解最深入



“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

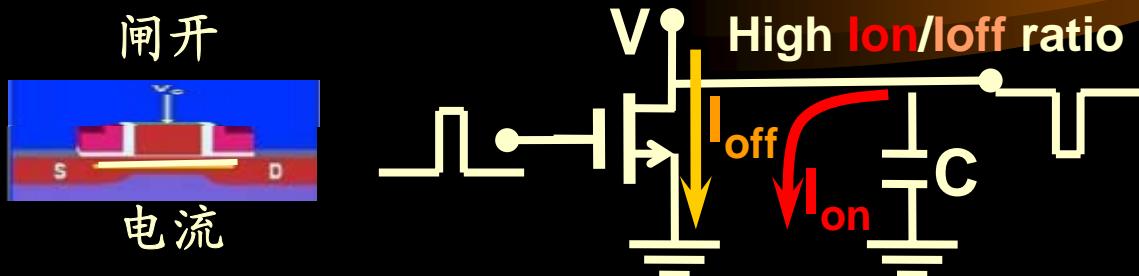
材料

结构

制程

设计

应用



人类发明了一个精简器件

- ✓ 两点一线决定一个有源器件
- ✓ 兼具“低进高出”的优异特性
- ✓ 互补结构“功”尽其用、“耗”节其尽
- ✓ 用简单的等缩比即可提高性价比

“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

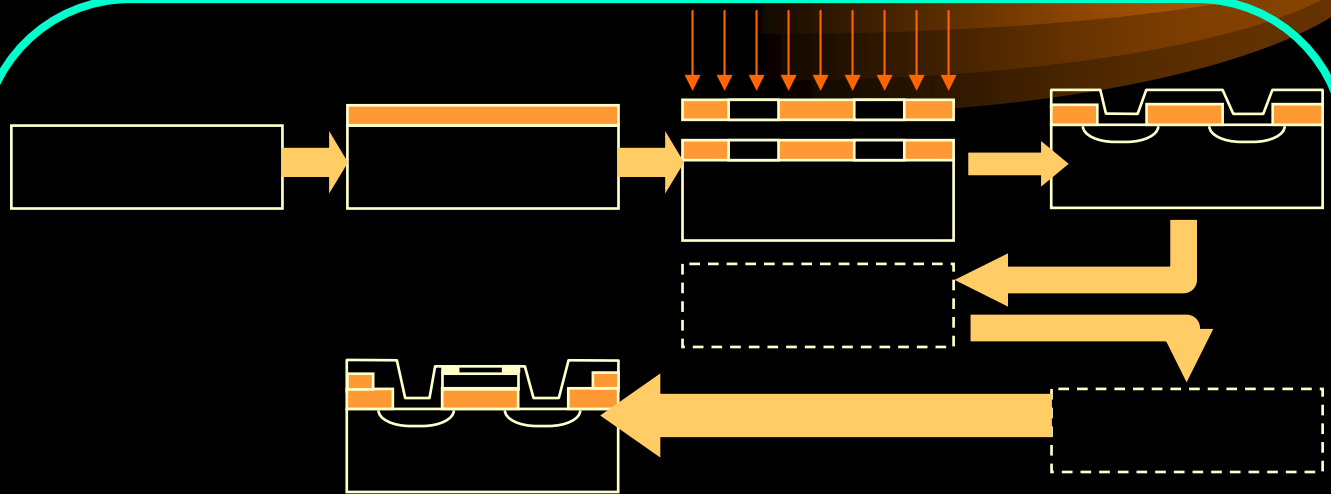
材料

结构

制程

设计

应用



硅片

长膜

刻印

改性

基于平台“印刷”，菜单与工艺集成

“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

材料

结构

制程

设计

应用

人类创建了一个精巧的制造方法

- ✓ 制造方法神似印刷钞票
- ✓ 密集器件巧置电气隔离
- ✓ 精细结构妙用粗犷生产
- ✓ 规模经济突显成本优势

“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

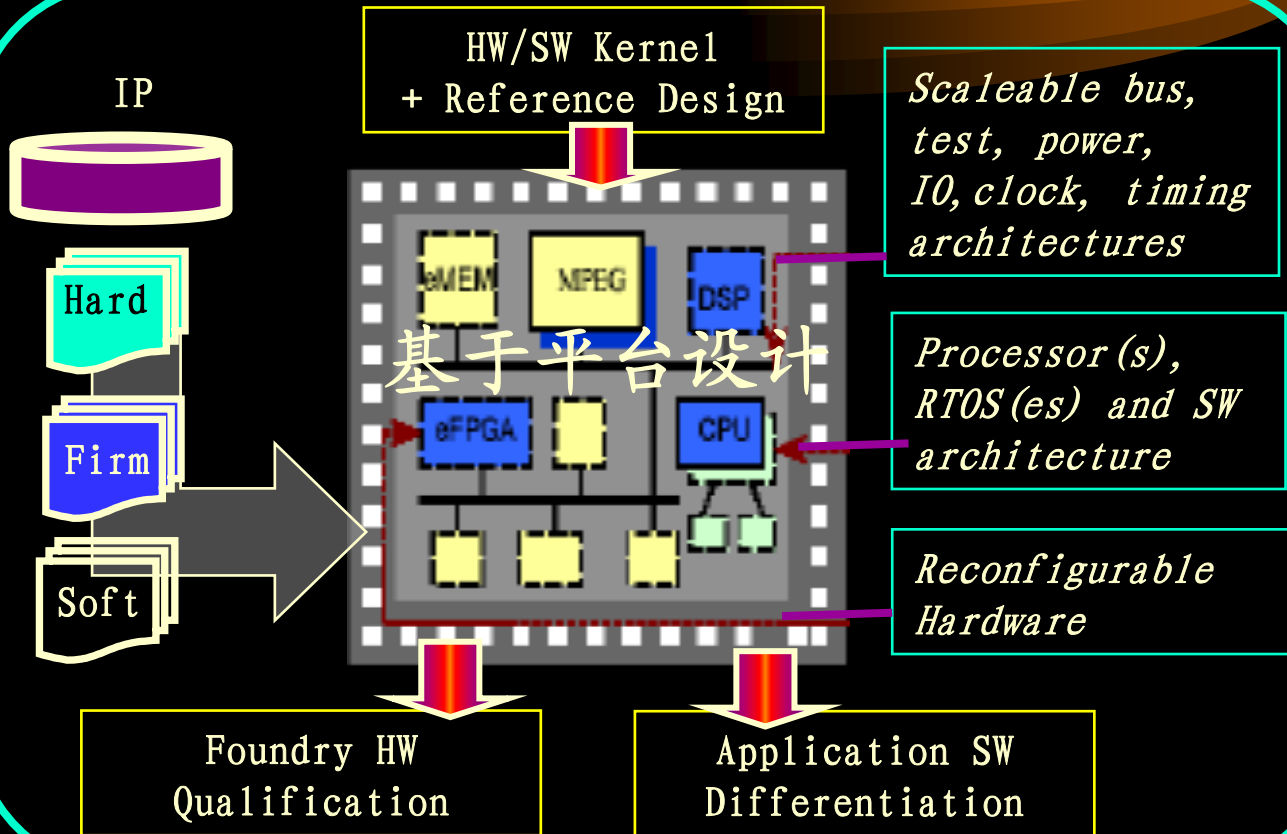
材料

结构

制程

设计

应用



“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

材料

结构

制程

设计

应用

把数以万计的、以“实”元件  
为基础的系统设计，  
化简为按某些约束条件下的  
“虚”元件的“即插即用”“堆积”

人类构筑了一个精易的设计技术

- ✓知识融入工具
- ✓留有设计窗口
- ✓可测试、可制造设计
- ✓像“机械”一样设计系统

“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

材料

结构

制程

设计

应用

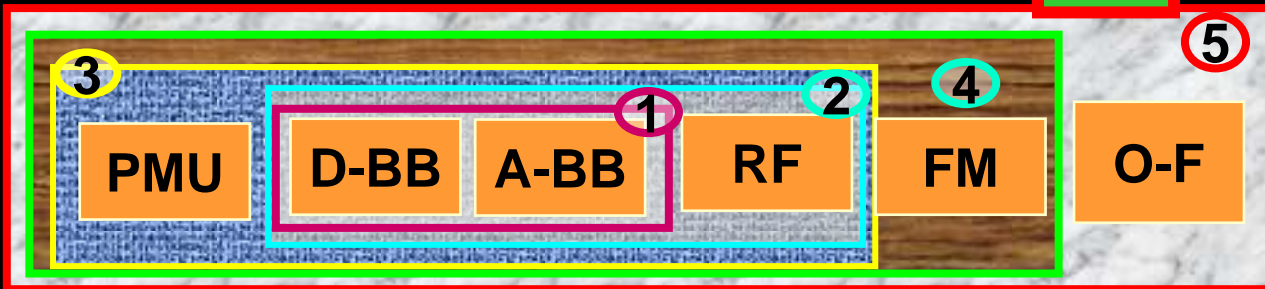
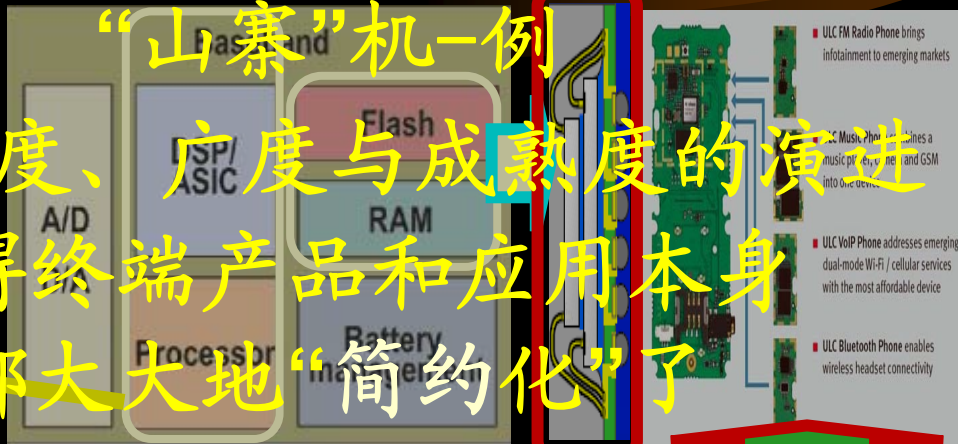
BT,GPS  
WLAN...

Digital  
SoC

Digital  
ASSP

“山寨”机-例

集成深度、广度与成熟度的演进  
使得终端产品和应用本身  
都大大地“简约化”了



“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

核心  
结构

缩小“体硅平面器件”的特征尺寸

$$I_{DSat} = \frac{1}{2} \mu \frac{\epsilon_0 \epsilon_s}{t_{ox}} \frac{W}{L} (V_{DD} - V_T)^2 \rightarrow \text{新材料}$$

核心  
工具

实现“特征尺寸缩小”的工艺方法

$$R = \kappa_1 \lambda / N_a \rightarrow \kappa_1 (\text{控制调整}); N_a (\text{浸没})$$

计算  
模式

提高“存储编程模式”的并行操作

指令串行，存储延时  $\rightarrow$  硬件加速

“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

逻辑延伸、传承更新!

核心结构

Manuf.	04	06	08	10	12	14	16	18
Node (nm)	90	65	45	32	22	16	11	8
Bulk Planar	High Probability			Low Probability				
Alternate, 3G	Low Probability			High Probability				
ILD (K)	~3	<3	仍延伸到		2-2.5			

传统硅平面结构仍延伸到

核心工具

计算模式





“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

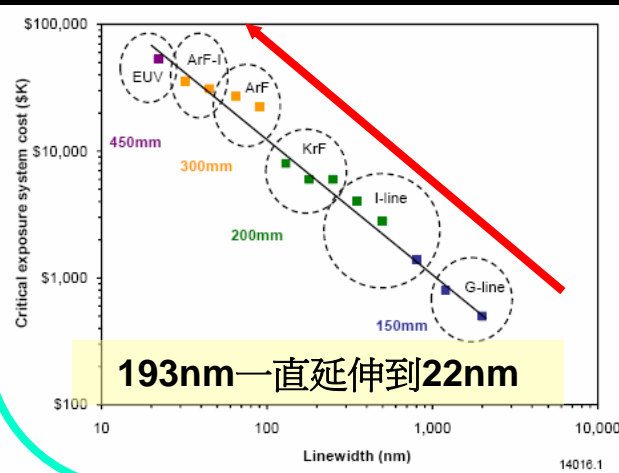
也是逻辑延伸、传承更新!

核心结构

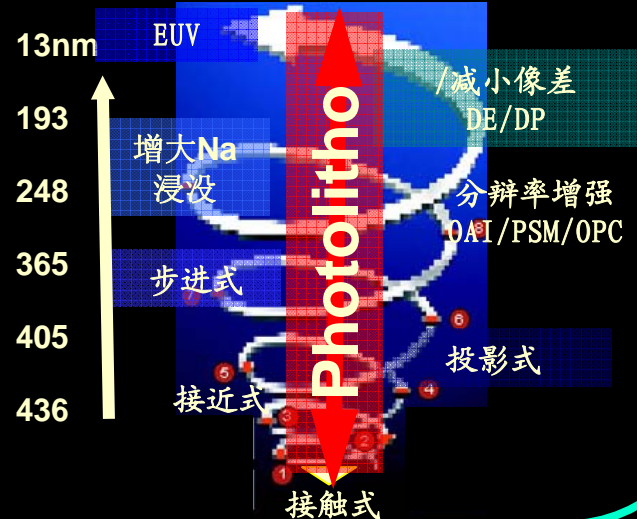
Manuf.	04	06	08	10	12	14	16	18
Node (nm)	90	65	45	32	22	16	11	8
PhotoL.	High Probability			Low Probability				
NGL	Low Probability			High Probability				

传统光学光刻仍延伸到

核心工具



计算模式



“小”就是美

崇尚“简约”

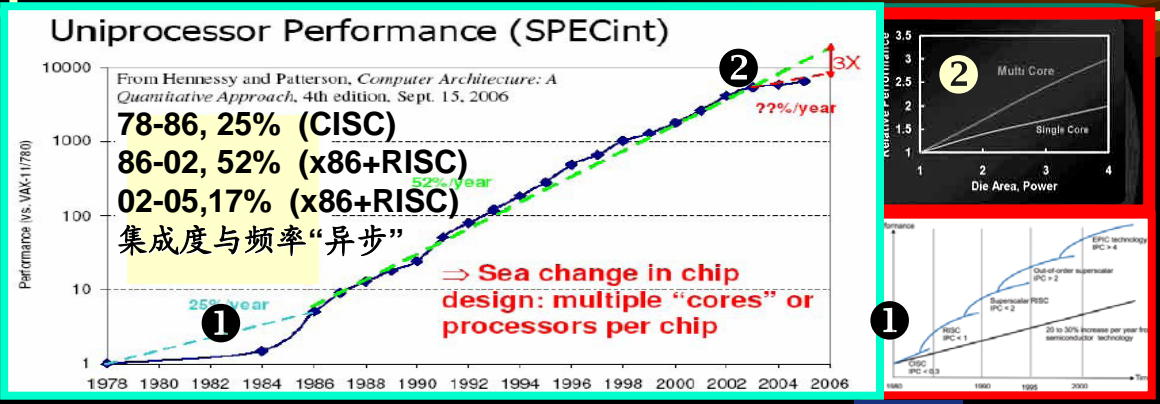
倚重“左脑”

再显 逻辑延伸、传承更新!

核心  
结构

核心  
工具

计算  
模式



# 提纲

- 前言(既要近赏更需远眺)
- 照亮发展道路的几点星光
- 几点星光显现的发展哲理
- 发展哲理透露的几点启示
- 总结(在延伸中寻找突破)

# 启示 - 1

## 从发展哲理中看成功的秘窍

### ✦ 奇异的基础材料 - 恩赐

为发明、创  
普通母特殊  
奠定基础



### ✦ 精易的电路技术 - 构筑

为创建既精密  
又按能知制造  
方法奠定基础

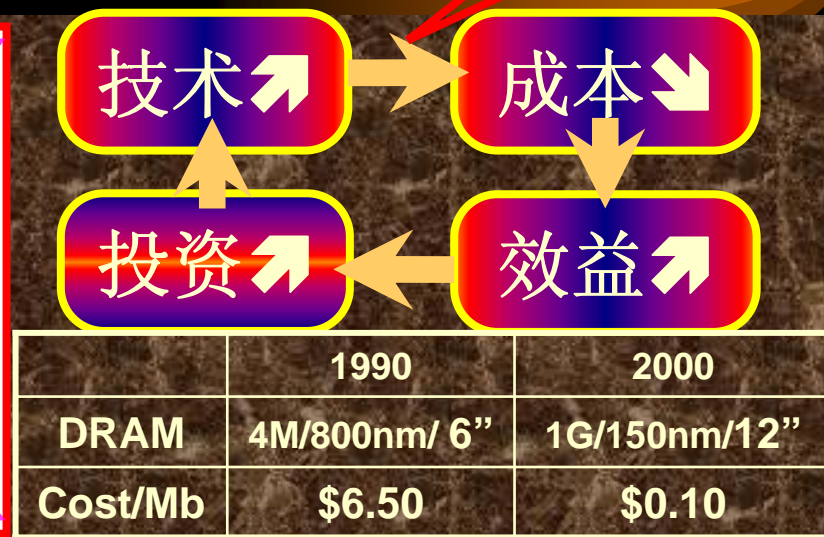
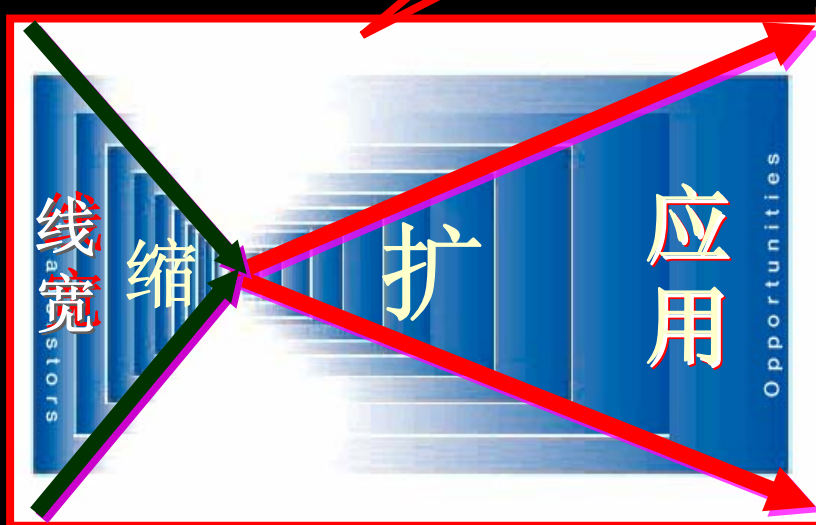
### ✦ 精简的基础器件 - 发明

为构筑精确模型  
又简率寄复染设  
计技术奠定基础

### ✦ 精巧的制造方法 - 创建

为生产好而贱商  
品精拙缛粗莽产  
业规供奠定基础

基于最普通的材料、最完美的匹配；采用最巧妙的“**缩扩**”实现了最辩证的“**轮回**”



既为发展留下惰性，又为未来启发思路！

难以割舍其优，尽力延伸！

替代评价参考，阻缓突破！

# 启示-2

## 从发展哲理中思考颠覆性突破

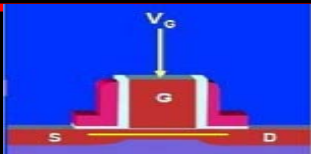
目标：  
使命：  
路：

“小”就是美

崇尚“简约”

倚重“左脑”

累由繁不能化简时



“小”的物理基础？

逻辑延伸??

感性  
跳跃

理性  
推理

天才脑

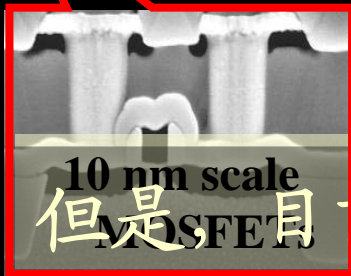
普通脑



发展中显现“悖论”：摒弃本系材料特征的优势；发展原非平面集成的技巧；抑制本应充分利用的效应；专注不涉器件机理的加工；

“小与简”是自然辩证  
当Si-CMOS的“小”不能“简”时  
表明其“逻辑延伸”即将终结

电子具波、粒性，  
是电荷、自旋、  
磁、光的载体。



小、快  
而冷

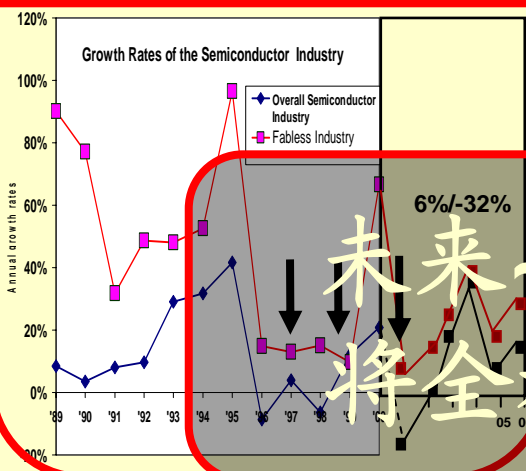
- Spin-based (E/M)
- Molecular
- Quantum cellular automata
- Rapid single flux quantum
- Resonant tunneling
- Single electron

但是，目前已涌现的这些“新兴器件”  
既不成熟又难与Si-CMOS性/价全面匹敌，  
而v. N计算范式也仍将主导SoC设计！

## 嵌入设计成为延伸创新主流

### 设计业领航

增速、利润、扩速  
大大于IDM和整个  
产业-高通进入前8



### SoC成主流

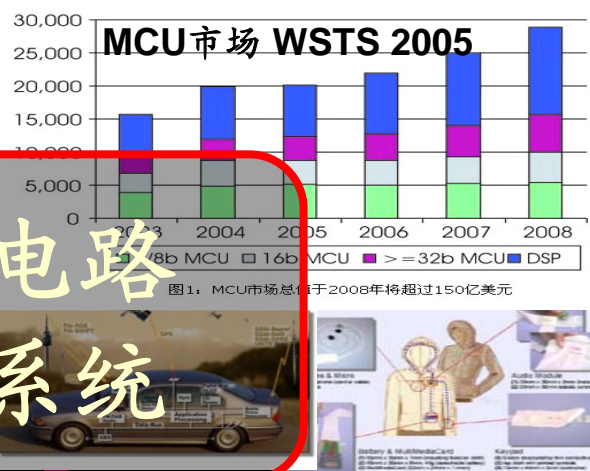
创新(2<sup>nd</sup>-SoC)  
增速(高于IC)

#### SoC应用市场-Gartner



### “嵌入”无所不在

嵌入式CPU/DSP  
2008约400亿片  
近300亿美元

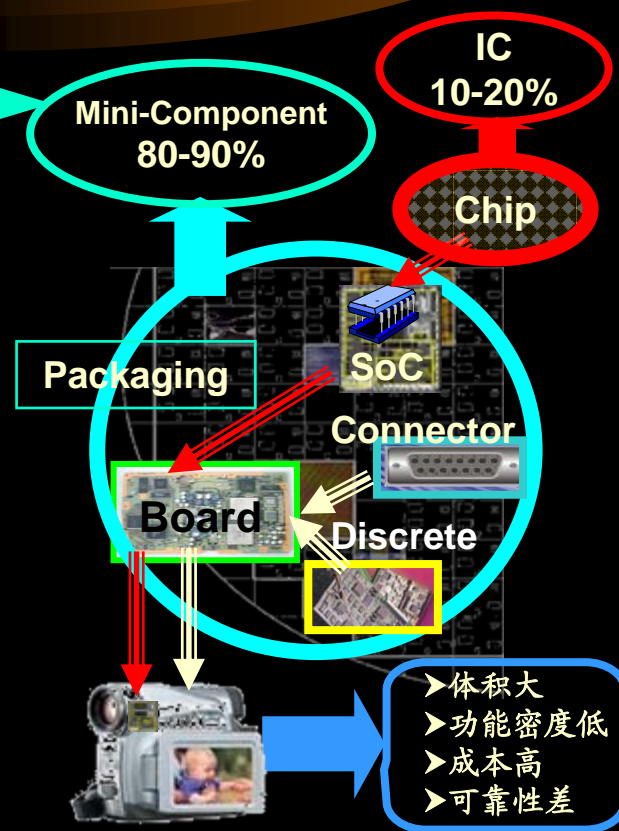
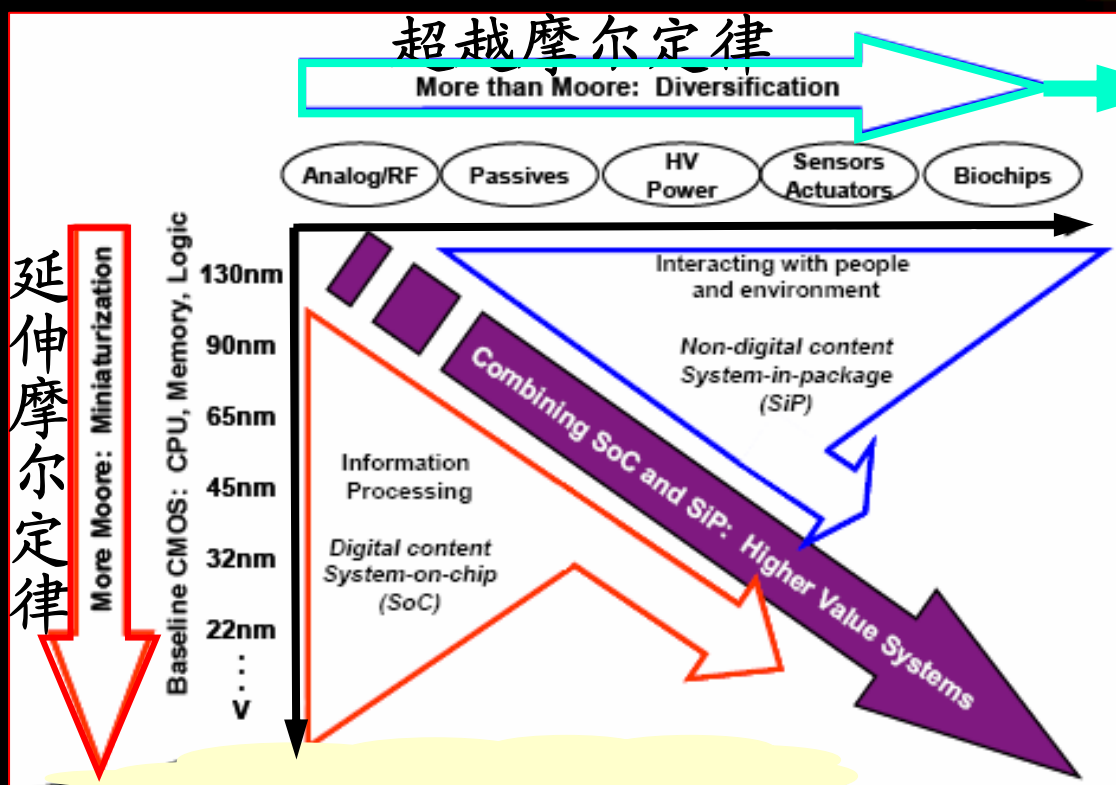




# 信息 - 4

## “嵌入”应用离不开SiP/3D封装

ITRS 2005: Focus on Assembly and Packaging

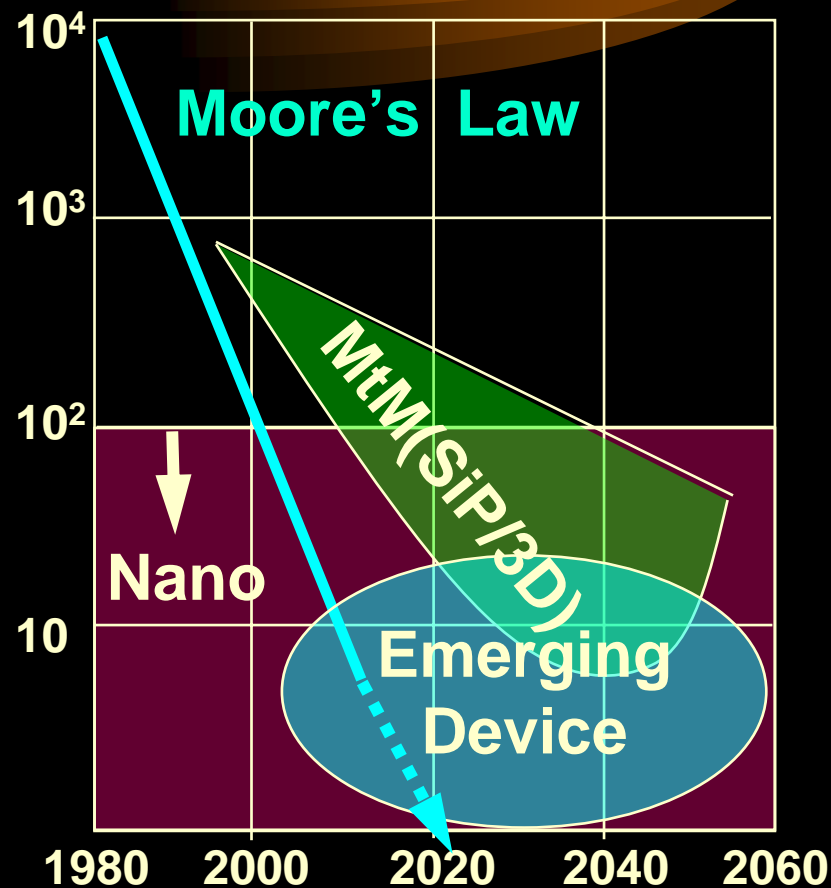
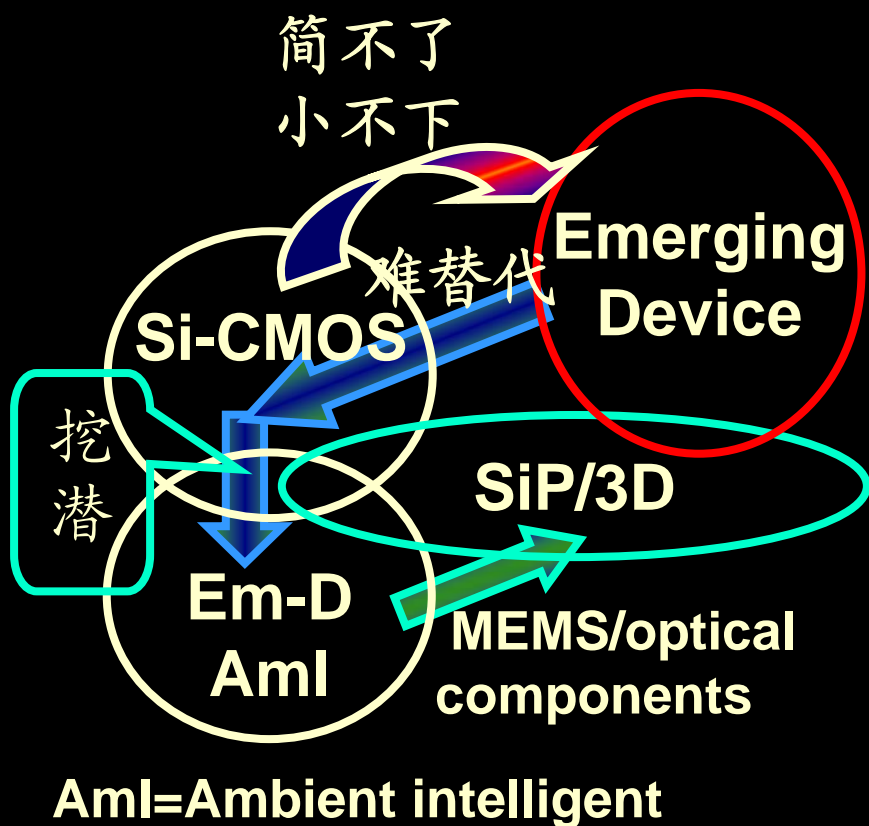



# 提纲

- 前言 (既要近赏更需远眺)
- 照亮发展道路的几点星光
- 几点星光显现的发展哲理
- 发展哲理透露的四大信息
- 总结 (在延伸中寻找突破)

# 发展大趋势

## 在延伸中寻找突破





谢谢